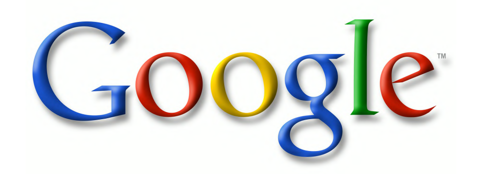










ENGLISCHE TUNNELBAUTEN

BEI UNTERGRUNDBAHNEN,

SOWIE UNTER FLÜSSEN UND MEERESARMEN.

EIN REISEBERICHT

VON

DR. PHILIPP FORCHHEIMER,

INGENIEUR,

PRIVATDOCENT AN DER KÖNIGL. TECHNISCHEN HOCHSCHULE ZU AACHEN.

MIT 19 HOLZSCHNITTEN UND 14 LITHOGR. TAFELN.

AACHEN,

VERLAG VON J. A. MAYER,

KÖNIGL. HOFBUCHHANDLUNG.

1884.

ENGLISCHE TUNNELBAUTEN

BEI UNTERGRUNDBAHNEN,

SOWIE UNTER FLÜSSEN UND MEERESARMEN.

EIN REISEBERICHT

VON

DR. PHILIPP FORCHHEIMER,

INGENIEUR,

PRIVATDOCENT AN DER KÖNIGL. TECHNISCHEN HOCHSCHULE ZU AACHEN.

MIT 19 HOLZSCHNITTEN UND 14 LITHOGR. TAFELN.

AACHEN,
VERLAG VON J. A. MAYER,
KÖNIGL. HOFBUCHHANDLUNG.
1884.

Vorrede.

Die vorliegende Schrift ist ein im Auftrage des Herrn Ministers der geistlichen, Unterrichts- und Medizinal-Angelegenheiten verfasster und mit hoher Genehmigung dem Drucke übergebener Bericht über eine im Frühjahr 1883 nach England unternommene Studienreise, zu welcher mir ein hohes Ministerium Mittel und Empfehlungen gewährt hat. Die erste Veranlassung zu dieser Reise war die Besichtigung jener Tunnelarbeiten unter Wasser, über die noch wenig Ausführlicheres in der deutschen technischen Litteratur veröffentlicht ist. Es konnte nicht ausbleiben, dass ich in England noch andere bemerkenswerthe Bauten in Ausführung traf, deren Besprechung an dieser Stelle nicht unerwünscht sein dürfte. In der Londoner City waren Theile der Untergrundbahn im Entstehen begriffen und die Gelegenheit, die dort angewendeten, trefflichen und empfehlenswerthen Ausschachtungsmethoden (S. 6, 9) kennen zu lernen, insbesondere die eigenthümliche Zimmerung (S. 7) zu vermessen, musste ich um so höher schätzen, als die Aufgabe, unterirdische Bahnverbindungen in Städten herzustellen, auch an uns deutsche Ingenieure heranzutreten scheint. Des weiteren verdiente die vortheilhafte Anwendung des Betons (S. 3—4), die Unterfangung der Häuser (S. 8), die Kreuzungsweise der Abwassercanäle (S. 6) und mancher andere Gegenstand eine nähere Beachtung. Im Gegensatze zu den in jeder Beziehung eigenartigen Untergrundbahnen liefert der ebenfalls in London gelegene zweite Belsize-Tunnel (S. 10—13) ein Beispiel für die gewöhnliche, englische Holzrüstung.

Was die Tunnelbauten unter Wasser anbelangt, so konnte ich einige den Themsedurchgang bei Woolwich betreffende Mittheilungen erlangen, unter den Flüssen Mersey und Severn liegende Stollen und Tunnelstrecken besuchen und mich von der Ausführbarkeit einer bergmännischen Verbindung von England und Frankreich an Ort und Stelle überzeugen. Unter dem Mersey begann im März vorigen Jahres gerade eine von Beaumont und English construirte Maschine (S. 20—22, 59—61, 64—65) den Wasserstollen auszubohren; der Anfang dieses Jahres erfolgte Durchschlag (S. 26) lässt erkennen, dass die Anwendung der Drehbohrung zur Aushöhlung des vollen Querschnittes ohne Mithülfe von Sprengmitteln — möge nun die Kraftübertragung durch verdichtete Luft oder stark gepresstes Wasser erfolgen — in weichem oder mittelhartem Gebirge schon deshalb wesentliche Vortheile bietet, weil sie die wasserführenden Spalten nicht künstlich erweitert. Die genauen Daten (S. 56—66) über die Vorarbeiten unter dem Canal-la-Manche zeigen überdies, dass unter Umständen

die Erbohrung des vollen Profils jeder anderen Abbauweise in Bezug auf Raschheit und Billigkeit weit überlegen sein kann; der kreisrunde Stollenquerschnitt gestattet es ferner, kleinere Wassereinsickerungen durch gusseiserne Ringe zurückzuhalten (S. 63—64). — Wo in Folge von Sprengungen oder anderen Ursachen der Zufluss ein grösserer ist, soll die Ausdehnung der bereits erschlossenen aber noch unverkleideten Gebirgsflächen zu jeder Zeit eine thunlichst geringe sein (S. 18, 33). Um die Mauerung trotz stärkerer Einströmungen zu ermöglichen, trifft man verschiedene Vorkehrungen (Anwenwendung verdichteter Luft S. 14 — Einbau einer hölzernen Verkleidung S. 20 — Einmauern von später zu verpflockenden Röhrchen S. 20, 36 — Ausspitzen von Rinnen im Gestein S. 68 — Benutzung von Wellblechen als Dach S. 36 — Herstellung einer Verzahnung zwischen dem Mauerwerk und dem Felsen S. 68 — Verpflockung der Gesteinsspalten S. 68 — Kalfatern schlechter Fugen S. 36 — Verlegung eines Rohrstranges unter der Sohle und Verwendung über Tage gemauerter Ziegelblöcke S. 19, 68); endlich muss man, falls die Gefahr des Einbruches mächtigerer Quellen droht, um einem Ertrinken der ganzen Anlage vorbeugen zu können, die einzelnen Strecken mit Dammthüren versehen (S. 18, 33, 34), deren Schluss, selbst wenn der Bau schon überschwemmt ist, noch durch Taucher (S. 34) bewerkstelligt werden kann. Grössere Quellen dämmt man vorläufig ab (S. 34), wenn ohne diese Maassregel die vorhandenen Pumpen dem gesammten Zufluss nicht genügen würden. Mit Rücksicht auf den Betrieb der fertigen Bahn empfiehlt es sich, wie schon im Jahre 1828 von Deakin (Mech. Mag. Bd. 8, S. 203) vorgeschlagen wurde, die tiefsten Tunnelpunkte unter das Flussbett zu legen (S. 17, 30, 33, 54) und von da aus Wasserstollen, welche in Pumpschächte münden, gegen das Ufer fallen zu lassen. Zur Wasserhaltung in einzelnen Absenkungen eignet sich die von Schenk construirte Pumpe (S. 40), bei welcher verdichtete Luft durch unmittelbare Einwirkung das Wasser in die Höhe drückt. — Dem Bau müssen gründliche Aufnahmen und Untersuchungen des Flussbettes oder Meeresgrundes vorangehen (S. 14, 16, 29), wie sie namentlich im grossartigsten Maassstabe im Canal-la-Manche durchgeführt wurden (S. 55 u. f.); doch ist zu bemerken, dass wir heute leider nur selten aus der Schichtenlage und der Bodenart auf die Wassermenge im Tunnel mit Sicherheit schliessen können; hier liegt noch ein weites Feld der künftigen Beobachtung und wissenschaftlichen Arbeit offen. — Zur Uebertragung der oberirdischen Absteckung durch einen Schacht nach unten eignet sich ein Passageninstrument, mit welchem man (S. 25, 46) einen Draht einrichtet, der unter Tage über die Windungen wagrecht gestellter Schrauben gespannt ist. Der Schluss eines elektrischen Stromes kann hierbei bemerkbar machen, ob die Senkel im Schacht frei hängen (S. 25). — Elektrische Beleuchtung bewährt sich in allen Strecken, in denen nicht gesprengt wird (S. 19, 24, 47, 64).

Bei der Beschreibung der Arbeiten glaubte ich den Standpunkt des Bauingenieurs einnehmen zu sollen; während ich daher maschinelle Details höchstens andeutete, war ich bestrebt, vollständige Verzeichnisse der benutzten Maschinen zusammenzustellen, um einen besseren Einblick in die Erfordernisse eines Baues unter Wasser zu ermöglichen und Anhaltspunkte für die Beurtheilung der Kosten zu liefern. Eine Ausnahme machte ich nur bei der oben erwähnten, bisher noch nirgends beschriebenen Pumpvorrichtung, bei der in ihrer jetzigen Gestalt auch noch nicht beschriebenen Bohrmaschine von Geach (S. 43—46), die viel Bemerkenswerthes zeigt und

in Deutschland noch sehr wenig bekannt sein dürfte, und — ihrer ungewöhnlichen Bedeutung wegen — bei den Tunnelbohrmaschinen von **Beaumont** und **English**, bezüglich welcher ich alle zugänglichen Angaben zu sammeln bestrebt war.

Nur in Betreff des Canal-Tunnels stand mir eine überreiche Litteratur zu Gebote. Bei den anderen Bauten war ich grösstentheils auf Notizen und Zeichnungen, die ich aus England mitgebracht habe, sowie auf briefliche Mittheilungen angewiesen, welches Material ich durch Benutzung bisheriger Veröffentlichungen zu ergänzen suchte. Fast alle derartigen Entlehnungen habe ich durch Anmerkungen gekennzeichnet.

Möge man es schliesslich entschuldigen, wenn ich an einer Stelle zu viel, an anderer zu wenig bringe, oder wenn ich der Schwierigkeit, die Einzelheiten eines verhältnissmässig nur kurze Zeit beobachteten Baues zu erfassen, nicht vollständig Herr geworden bin.

Aachen, im Februar 1884.

Der Verfasser.

Inhaltsverzeichniss.

Neuere Strecken der Londoner Untergrundbahnen.

Mit der Benutzung unterirdischer Bahnen ging unter den grossen Städten die volkreichste und geschäftlich regsamste, die Stadt London, voran. Hier gelangte zum ersten Male das Princip zur Verwirklichung, ausgedehnte Geleisanlagen unterhalb

Seite 20 Zeile 5 v. o. lies plank statt planked.
„ 27 „ 2 v. u. lies Pluckington statt Sluckington.
„ 68 „ 17 v. u. nach Wasserseigen schalte ein (Fig. 46 Taf. XI).

höhe des Terrains dahin, und da wo Häuser im Wege standen, wurden dieselben mit Ausnahme von 2 Gruppen nächst der Wells-Road einfach weggerissen. Man hat bei dieser Bahn das Baugewühl immer zu Tage treten sehen können und ist somit vom unterirdischen Treiben, Schaffen und Kämpfen wenig die Rede gewesen.“ Heute hat sich die Bauweise verändert: die Strassen wurden enger, das Arbeitsgewühl ist nur an vereinzelten Stellen sichtbar, über den unterirdischen Betrieb hinweg hastet der Verkehr der belebtesten Theile der City; wenn auch nicht Tunnelbau, so hat der Arbeitsvorgang doch eine Form angenommen, welche auf eigenthümlichste Weise zwischen Tunnel und überwölbtem Einschnitt vermittelt, und die uns um so wichtiger erscheinen muss, als sie die Forderung, unter einer schmalen Strasse eine Bahn ohne Störung des Strassenverkehrs herzustellen, thatsächlich erfüllt.

In das Jahr 1865 fällt die Ausdehnung der Bahn bis Moorgate einerseits, bis Kensington andrerseits. Die bisher genannten Linien gehören der *Metropolitan-Railway;* ihnen schlossen sich bald darauf die Strecken der *Metropolitan-District-Railway* oder, wie sie gewöhnlich heisst, *District-Railway* an, welche während der Jahre 1869—1871 den Endpunkt des unterirdischen Bogens allmälig von Kensington nach Mansionhouse vorrücken liessen. Einige Jahre später fand die Eröffnung der Strecke Moorgate-Aldgate statt, so dass zum geschlossenen Kreis nur mehr das Stück Aldgate-Mansionhouse fehlte. Inzwischen hatte ein höchst schwieriger und heute berühmter

1) Organ f. d. Fortschritte des Eisenbahnwesens 1863.

Neuere Strecken der Londoner Untergrundbahnen.

Mit der Benutzung unterirdischer Bahnen ging unter den grossen Städten die volkreichste und geschäftlich regsamste, die Stadt London, voran. Hier gelangte zum ersten Male das Princip zur Verwirklichung, ausgedehnte Geleisanlagen unterhalb der vorhandenen Strassen zu schaffen und das Jahr 1863, in welchem die Betriebseröffnung der Anfangsstrecke Paddington-Farrington der *Metropolitan-Railway* stattfand, bleibt vermöge der Bedeutung, welche die Einführung einer neuen Methode besitzt, ein denkwürdiges in der Geschichte des Verkehrswesens. Zahlreich und eigenartig waren auch die Aufgaben, welche die bauliche Seite des Unternehmens an die Ingenieure stellte, und wenn auch manche damals gewählte Lösung heute nicht mehr den Vorzug erhalten würde, so muss man doch dem Urtheile Rźiha's beipflichten, welcher die Bahn zu den Meisterwerken der Technik zählt, wiewohl „im Sinne des Wortes Tunnel" die Schwierigkeiten nicht so besonders gross gewesen seien. „Der bedeutendere Theil", — lautet die Aeusserung Rźiha's[1]) — „ist ja nur in Weise überwölbter Einschnitte hergestellt und es lässt sich diesem nach vom speziellen Fachmann nicht jene Exaltation theilen, welche die *Underground Railway* als ebenbürtig mit dem Stolze unserer Wissenschaft, nämlich mit dem Themsetunnel hinstellt. Der grösste Theil der unterirdischen Bahn führt unter breiten Strassen mit vielleicht 10′ Firsthöhe des Terrains dahin, und da wo Häuser im Wege standen, wurden dieselben mit Ausnahme von 2 Gruppen nächst der Wells-Road einfach weggerissen. Man hat bei dieser Bahn das Baugewühl immer zu Tage treten sehen können und ist somit vom unterirdischen Treiben, Schaffen und Kämpfen wenig die Rede gewesen." Heute hat sich die Bauweise verändert: die Strassen wurden enger, das Arbeitsgewühl ist nur an vereinzelten Stellen sichtbar, über den unterirdischen Betrieb hinweg hastet der Verkehr der belebtesten Theile der City; wenn auch nicht Tunnelbau, so hat der Arbeitsvorgang doch eine Form angenommen, welche auf eigenthümlichste Weise zwischen Tunnel und überwölbtem Einschnitt vermittelt, und die uns um so wichtiger erscheinen muss, als sie die Forderung, unter einer schmalen Strasse eine Bahn ohne Störung des Strassenverkehrs herzustellen, thatsächlich erfüllt.

In das Jahr 1865 fällt die Ausdehnung der Bahn bis Moorgate einerseits, bis Kensington andrerseits. Die bisher genannten Linien gehören der *Metropolitan-Railway;* ihnen schlossen sich bald darauf die Strecken der *Metropolitan-District-Railway* oder, wie sie gewöhnlich heisst, *District-Railway* an, welche während der Jahre 1869—1871 den Endpunkt des unterirdischen Bogens allmälig von Kensington nach Mansionhouse vorrücken liessen. Einige Jahre später fand die Eröffnung der Strecke Moorgate-Aldgate statt, so dass zum geschlossenen Kreis nur mehr das Stück Aldgate-Mansionhouse fehlte. Inzwischen hatte ein höchst schwieriger und heute berühmter

1) Organ f. d. Fortschritte des Eisenbahnwesens 1863.

Bau stattgefunden, nämlich die Verlängerung der East-London-Bahn unter der Themse mit Benutzung des Brunel'schen Themsetunnels, dann unter einem Wasserbecken der London-Docks hindurch bis zum Anschluss an die Great-Eastern-Bahn in Bricklane. Bauleitende Ingenieure waren hierbei Sir J. Hawkshaw und W. Hunt und Bauunternehmer T. und C. Walker[1]).

Der Verkehr der unterirdischen Bahnen war in beständigem Wachsthum begriffen; so benützten die Metropolitan-Bahn

1865	über	15 000 000	Personen
1867	„	23 000 000	„
1870	„	39 000 000	„
1872	„	44 300 000	„
1875	„	48 300 000	„
1877	ungefähr	56 175 000	„
1878	„	58 807 000	„
1879	„	60 747 000	„

Es kann daher nicht Wunder nehmen, dass sowohl die Metropolitan als die District trachteten, den Kreis zu schliessen und dass sich zu gleichem Zwecke etwa 1874 eine dritte Gesellschaft bildete.

Im September 1879 kam eine Einigung zu Stande, gemäss welcher die Metropolitan Ry. den Bau des Stückes Aldgate-Tower-of-London-Station im September 1881 begann, mit Tomlinson als entwerfendem Hauptleiter (*engineer*), E. P. Seaton als Bauleiter (*resident engineer*), T. A. Walker als Unternehmer, und die District Ry. mit der Metropolitan zusammen die Strecke Mansionhouse-Tower in Angriff nahmen, mit Sir John Hawkshaw und J. Wolfe-Barry als Hauptleiter, Seaton als Bauleiter, T. A. Walker als Unternehmer. Herr Walker, dessen zahlreiche, grossartige Bauten in allen Theilen Englands ihm einen fortwährenden Aufenthalt in London nicht gestatten, wird unterstützt durch die Ingenieure Wardhaugh und Bates.

Beide Theilstrecken sind zweigeleisig und natürlich normalspurig; dieses vorausgeschickt soll mit der Beschreibung der zuerst genannten begonnen werden (vgl. Fig. 1 Tafel I).

Strecke Aldgate-Tower.

Unweit des Ausgangspunktes der Station Aldgate wird die Bahn von der Aldgate-Highstreet mittelst einer Blechträgerbrücke mit Säulenstellungen von 25 *m* Spannweite übersetzt, in welcher Strasse eine Gasleitung von 101 *mm* Durchmesser, eine Gasleitung von 610 *mm* und zwei von 914 *mm*, sowie eine Wasserleitung von 101 *mm* liegen. Man stellte unter Einschränkung des Strassenverkehrs auf halbe Breite zuerst die eine Brückenhälfte, dann die andere her. Beidseitig von den Hauptröhren liegen in 3,658 *m* Entfernung genietete Hauptträger von 1,372 *m* Höhe, deren Untergurte durch 0,305 *m* hohe I-Eisen der Quere nach verbunden sind. Auf den I-Eisen ruhen Eisenbleche und endlich Holzsättel für die Röhren. Die Häusergruppe an der Ecke

1) Vgl. Engineering v. 17. Dec. 1875, S. 467 u. Handbuch f. spez. Eisenbahntechnik, herausgegeben v. Heusinger v. Waldegg, 1878, Bd. V. S. 630.

der Aldgate-Strasse und der Minories wurde niedergerissen und die Bahn ein kurzes Stück im Einschnitte zwischen Mauern aus Cementbeton (siehe Fig. 2 Tafel I) geführt. Es folgt ein eingewölbtes Stück, welches später wieder mit Häusern überbaut werden soll, und das man nach Fig. 3 Tafel I ausführte mit 0,914 starker Ziegelkappe, 1,829 starken Widerlagern aus Cementbeton und 0,610 starkem Sohlgewölbe, ebenfalls aus Cementbeton. In letzterem ist für die Tunneldohle, wie beistehend gezeichnet, eine Rinne ausgespart. Unter den Minories ging man auf ähnliche Weise, wie die weiter unten ausführlich beschriebene, vor und es fand der Ersatz des Strassenpflasters durch Querschwellen und doppelten Bohlenbelag in den Nächten vom 9. zum 14. Januar 1882 statt. Unter den Minories beträgt (Fig. 4 Tafel I) die Wölbstärke 0,686 *m*, die Widerlagerstärke 1,219 *m*. Die Unterfahrung der Great Eastern Ry. musste durchgeführt werden, ohne den Verkehr zwischen den Stationen Fenchurch und Lemanstrasse zu unterbrechen. Unweit dieser Kreuzung liegt die Trasse unter dem Crescent-Platz, wo man den Querschnitt der Fig. 5 Tafel I mit elliptischem Gewölbe aus 5 Ziegelrollschichten = 0,571 *m* unter den freien Flächen, aus 6 Schichten = 0,686 *m* unter den Häusern wählte. Die Lichtweite, welche bisher 7,620 *m* betragen hatte, wurde hier auf 7,925 m vergrössert. Endlich kehrte man unter Trinity-Square zu einer ähnlichen Form Fig. 6 Tafel I wie die unter den Minories zurück, begnügte sich jedoch, das Gewölbe blos 0,572 *m* statt 0,686 *m* stark zu machen. Im September 1882 wurde der Verkehr von Aldgate-Street bis zu einer vorläufigen Haltestelle an der Ostseite des Trinity-Squares eröffnet [1]).

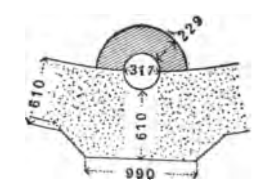


Fig. 1.

Strecke Mansionhouse-Tower.

Für den von den beiden oben genannten Gesellschaften zu erbauenden Abschnitt Mansionhouse-Tower waren, wie es scheint, Anfangs **Profile** in Aussicht genommen, wie sie auf einigen Strecken der alten Bahn ausgeführt sind. Daselbst sind (Fig. 7 a b c und Fig. 8 a b Tafel II) die Widerlager aus Ziegeln gemauert und gekrümmt: das Vorhandensein von Sand und Schotter unter den Bodenarten der Ausschachtung machte die Anwendung von Beton [2]) billiger und mit Rücksicht auf die Herstellung einer glatten Ansichtsfläche entschied man sich nunmehr auch für eine ebene innere Begrenzung. Ueberhaupt ist die Anwendung des Betons, obwohl in England längst sehr gebräuchlich, in Zunahme begriffen. Er ermöglicht vor Allem eine rasche, unter Umständen auch eine billige Ausführung. Als Vortheile bei Verwendung des Betons

1) Die Daten über die genannte Strecke sind dem Engineer vom 2. März 1883 entnommen; doch habe ich einige kleinere Fehler in den Abbildungen nach Angaben, welche mir in London zu Theil wurden, berichtigt.

2) In Deutschland sind mir nur wenige ähnliche Anwendungen bekannt, z. B. die Verkleidung eines kurzen Strassentunnels am Ufer des Traunsees in Ober-Oesterreich mit Beton, als sich einige Jahre nach der Aussprengung am Gesteine eine beginnende Verwitterung bemerkbar machte. Hier nahm man Beton sowohl zu den Widerlagern als auch zu der Decke. Unweit Aachen, bei Vylen, befindet sich ein mit Trassbeton verkleideter Stollen.

zu Stützmauern werden ferner noch angeführt: er wiegt mehr als Ziegel und die Mauern sind daher bei gleicher Stärke stabiler (das Gewicht von 1 Cub.-Fuss üblichen Ziegelmauerwerks wurde mir in London zu 124 Pfund, dasjenige von 1 Cub.-Fuss Cementbeton zu 135 Pfund angegeben, entsprechend Eigengewichten[1]) von 1,99 beziehungsweise 2,16); alle Löcher der Ausschachtung müssen ausgefüllt werden und es bleiben keine Hohlräume wie bei Ziegeln hinter der Mauer. Der Vorwurf, dass Beton dem Angriff der Witterung nicht widerstehe, erscheint unbegründet, da man in der Lage ist, vorne etwas mehr Cement zu nehmen und die Aussenfläche mit Cement abzureiben, also aus demselben Stoff zu bilden, aus dem die zarteren Verzierungen unserer meisten Haus-Façaden bestehen. Bruchstein, der sich unter Umständen durch Billigkeit, auf alle Fälle durch grosses Eigengewicht empfiehlt, wird in England auffallend wenig verwendet. Wo keine genügende Höhe vorhanden war, wurde auf einigen Theilen der alten Bahn z. B. bei Charing Cross, in Westminster nach Fig. 9 Taf. II gearbeitet; die Anwendung des Betons liess die complicirten Nischen unvortheilhaft erscheinen und sprach für die Ausführung ebener Mauern; ein Bau ohne Sohlgewölbe, wie ihn die eine Hälfte der Fig. 9 a Tafel II zeigt, wird ferner, ob Eisendecke oder Gewölbe, jetzt immer vermieden, da an einigen ohne Sohlgewölbe ausgeführten Stellen der ersten District-Strecke Victoria-Kensington der Boden sich hob und die Seitenwände das Bestreben zeigten, zusammenzurücken.

Die zwischen Mansionhouse-Station und dem Tower angewandten Profile der laufenden Strecke sind in den Figuren 10 und 11 Tafel III dargestellt und zwar wird nach Fig. 10 unter der Strasse, nach Fig. 11 Taf. III unter den Häusern gebaut. Abweichungen entsprechend den Holzschnitten 2 u. 3 finden unter Hausscheidemauern sowie dort statt, wo wenig Höhe vorhanden ist. Die Gewölbe werden in Cementmörtel ringweise d. h. in Rollschichten gemauert, und nur, wo die Lagerfugen zweier Schichten zufällig zusammentreffen, lässt man die Ziegel durchgreifen. Da der Londoner Ziegel sammt der Mörtelfuge 9″ (229 *mm*) lang, $4^1/_2$″ (114 *mm*) breit und 3″ (76 *mm*) hoch ist, entspricht jeder Rolllage eine Wölbstärke von 114 *mm*. Unter den Strassen oder zwischen den Hausmauern wendet man (Fig. 10 und 11 Tafel III) sechs, unter Scheidewänden u. dgl. (s. Holzschn.) neun Lagen an. Ob es besser sei, einzelne Rollschichten zu bilden oder den Verband durchgreifen zu lassen, ist übrigens auch in England eine unentschiedene Frage, doch scheint erstere Bauweise mehr Anhänger zu besitzen. Der Beton besteht aus 1 Theil Portlandcement und 6 Theilen Sand und Kies, und die Kiesmenge soll


Niedriges Profil.

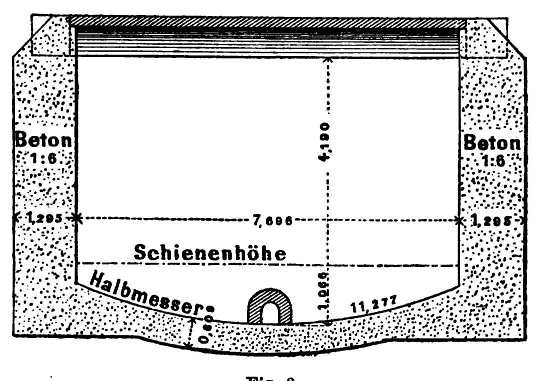


Fig. 2.

1) Nach der „Hütte“ beträgt das Eigengewicht von Ziegelmauerwerk 1,55, von Cement 2,90, von Sandstein 2,30, von Sandsteinmauerwerk 2,05.

sich zur Sandmenge verhalten wie 3 : 2. Die Ausschachtung liefert zum grossen Theil sandigen Kies, welchen man sofort zur Concretbereitung verwendet, nachdem man seinen Sandgehalt durch Sieben etwas verringert hat. Der Beton erhärtet vollständig in 48 Stunden. Die Stärke der Strassendecke soll 0,610 *m* betragen; wo es jedoch an Höhe mangelt, begnügt man sich auch mit 0,381 *m* Entfernung zwischen Strassenoberfläche und Gewölberücken. Hat das Profil der Fig. 10 Taf. III an einer vereinzelten Stelle nicht Platz, so hilft man sich damit, dass man dort den Schluss aus gusseisernen Wölbstücken bildet, welche am Scheitel etwas schmäler gehalten sind als das übrige Gewölbe. Wo es auf längeren Strecken an Höhe fehlt, geht man zum Profil des Holzschnittes 2 mit Ziegelkappen zwischen Blechträgern über. Die Blechträger sind an den Enden so hoch wie in der Mitte; um Raum für Rohrleitungen zu gewinnen, ersetzt man sie daher zuweilen durch gegossene in 1,829 *m* Entfernung von einander gestellte Gusseisenträger nach beistehender Handskizze.

Unter Hausscheidemauern.

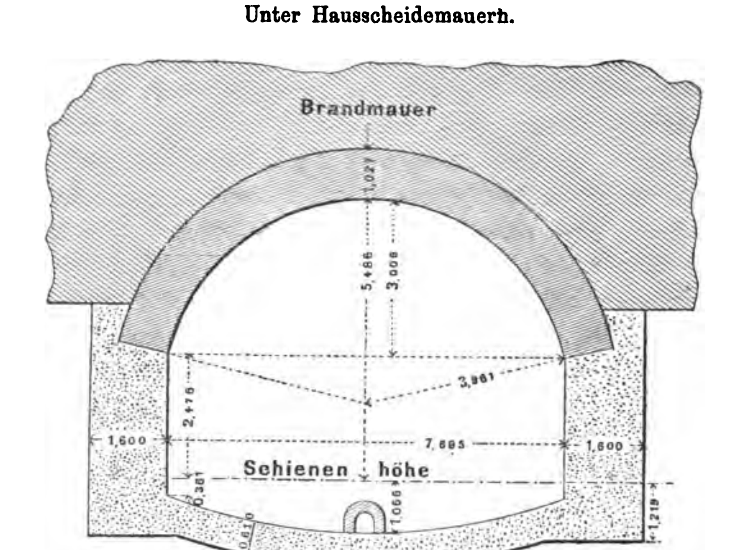


Fig. 3.

Ueberhaupt ist zu unterirdischer Verwendung Gusseisen in letzter Zeit wieder beliebter geworden als Schmiedeisen, welches dem Rosten zu sehr ausgesetzt ist. Ueber den älteren Bahntheilen ruhen viele Häuser auf eisernen Trägern; manche derselben verrosteten derart, dass bereits eine Umwechslung nothwendig ward; heute geht man daher unter Hausmauern mit Vorliebe mit gemauerten Gurtgewölben vor. Fig 9 zeigt 0,8 *m* breite, 0,305 *m* hohe Auflagsquader; die Eisenbalken des durch den Holzschnitt erläuterten Profiles ruhen auf Untermauerungen aus Klinkern in Portlandcement, 1,219 *m* lang, 1,219 *m* breit, 0,686 *m* hoch, welche sich gerade so gut bewähren sollen wie Auflagersteine.

Gusseisenträger.

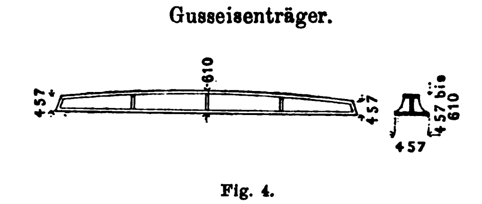


Fig. 4.

Wo die Bahn unter eine Strasse kommt, wird die bestehende **Entwässerung der Häuser** unterbrochen. Es wird (vgl. Fig. 10 Tafel III) auf jeder Seite des Tunnels ein Sammler angelegt, in den die Hausleitungen münden. Seine Grösse ist in den verschiedenen Strassen verschieden. Er wird aus gepressten Gault-Ziegelsteinen in Portlandcement gemauert. Zur Sohle verwendet man J e n n i n g s Patent-Sohlstücke (Fig. 10 Tafel III) aus glasirtem, braunem Steingut, welche man der

Festigkeit wegen bei dem Verlegen mit Portland-Cement vollgiesst. Während des Baues wird, wenn es nöthig ist, der Unrath in hölzernen Rinnen über die Baugrube geführt. Von Zeit zu Zeit geht ein Sammelcanal unter der Bahn hinweg; ist da kein Platz für den vollen Sielquerschnitt, so wird die Leitung getheilt. Besondere Spülvorrichtungen an den Kreuzungsstellen waren nirgends nöthig, da die Gefälle in der City genügend gross sind. Es beträgt die vorgeschriebene Neigung der Unrathscanäle in der City $^1/_{120}$ und die Bahngesellschaft darf sie bei grösseren Sammlern bis auf $^1/_{2500}$ vermindern; bei kleineren Sielen ist die geringste Neigung grösser zu lassen. Wo die Veränderung ein Gefälle von mehr als $^3/_4$ *m* Höhe auf 1 *m* Länge zur Folge hat, würde sich bei einfacher Schräglegung die Canalsohle zu sehr abnutzen; man vermindert die Geschwindigkeit des Abwassers durch Ausführung einer Sturztreppe (*tumbling bay*), nämlich durch Einlegen von Stufen, welche mit glatt bearbeiteten *Yorkshire flags* abgedeckt werden, d. i. mit Bruchsteinplatten, welche grösstentheils aus der Grafschaft Yorkshire kommen. Eine grössere Canalkreuzung liegt (s. Fig. 12 Tafel IV) in Dowgatehill unter der Cannon-Street-Haltestelle, woselbst das alte, gemauerte, ungefähr 2,2 *m* hohe Siel durch zwei in Beton gelagerte Stränge aus 2,743 *m* langen, an einander geschraubten, gusseisernen Flanschrohren von 1,371 *m* Durchmesser ersetzt wurde. Das erforderliche starke Gefälle der Sohle oberhalb der Bahn wird hier (s. Fig. 12 Tafel IV) durch eine der erwähnten Sturztreppen ermöglicht; um das Begehen zu erleichtern ist an einer Seitenwand derselben eine eiserne Geländerstange angebracht. Canaldüker baut man nicht mehr, weil sie sich leicht verstopfen, und weil man annehmen soll, dass sie leicht brechen; ein Düker befand sich ehemals in Westminster, wurde aber später umgebaut, so dass unter der Districtbahn keiner mehr besteht. — Gasleitungen führt man über das Gewölbe hinweg, indem man den Strang allmählig in die Höhe gehen und ebenso wieder sinken lässt.

Der gewöhnliche **Vorgang bei der Ausschachtung** ist, wenn die Bahn unter einer Strasse liegt, der folgende. Die Strasse wird Nachts aufgebrochen und es werden in 1,219 *m* (4') Entfernung von Mitte zu Mitte Balken von 0,304 *m* (1') Höhe und Breite quer über den Fahrdamm gelegt und gegen die Bordsteine festgekeilt. Auf die Balken kommt ein Belag von 0,304 *m* (1') breiten, 0,102 *m* (4") starken Längsbohlen und darüber ein zweiter Belag von Querbohlen, welche 22 bis 25 *cm* breit und 0,076 *m* (3") stark sind; an Strassenkreuzungen werden mit Rücksicht auf den nach verschiedenen Richtungen gehenden Wagenverkehr die Bohlen des oberen Belages nicht quer über die Strasse, sondern schräg gelegt. In passenden Entfernungen stellt man von Bretterwänden umschlossene Schachteingänge her. Von ihnen aus findet der Vortrieb eines Firststollens A (siehe beistehende Handskizze) dicht unter den Querbalken statt; es folgt die seitliche Erweiterung B, die Abteufung der Widerlager C. Nun betonirt man die Widerlager, vertieft die Stollensohle derart (D), dass man die Schalung anbringen kann und mauert das Gewölbe. Wo die Häuser bereits von den Kellern aus unterfangen worden sind, kann die Absenkung der Wider-

Anordnung der Ausschachtung.

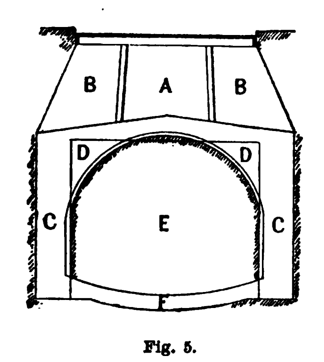


Fig. 5.

lager geradeaus vor sich gehen; sind die Häuser aber nahe der Arbeitsstelle und nicht unterfangen, so theilt man die Abteufung in 4,276 *m* (14') lange Stücke, welche, wenn man sie mit fortlaufenden Nummern versieht, in der Reihenfolge 1, 7, 4, 2, 6, 3, 5 in Angriff genommen werden. Unter dem Schutze des fertigen Gewölbes wird schliesslich der Kern E abgebaut und das Sohlgewölbe F ausgeschachtet und eingebracht.

In Fig. 10 Tafel III ist eine von mir an Ort und Stelle aufgenommene **Zimmerung** dargestellt; auf einer Seite waren die Häuser mit Vorkellern versehen, auf der anderen nicht. Die Zeichnung zeigt den durchgehenden Firststollen und einen von ihm aus gegen die linke Häuserreihe getriebenen Querschlag, von welchem aus, die Häuser entlang, ein kleiner Stollen geführt wird. Von letzterem teuft man unter den Hausmauern enge Schächte ab, welche bis auf ungefähr 90 *cm* unter der Grundsohle der Mauer mit Beton ausgefüllt werden; die freigelassenen 90 *cm* mauert man mit Ziegeln in Portland-Cement aus und treibt in die Fuge der letzten Schar, um den Pfeiler gegen das Haus fest zu verkeilen, noch Schiefersplitter von gewöhnlichem Dachschiefer ein. Die Dicke der aus solchen an einander gereihten Pfeilern bestehenden Unterfangung beträgt unter der Hausmauer gewöhnlich 1,219 *m* (4'), an der Sohle ebenfalls 1,219 oder bei schlechterem Grund 1,829 *m* (6'); um bei der Absenkung des Pfeilerschachtes zu wissen, ob derselbe nach unten zu erbreitern ist, untersucht man den Boden mit dem Stossbohrer. Die rechte Seite der Zeichnung zeigt die Unterstützung der Mauern eines vorgebauten Kellers, dessen vordere Wand mit ihrem Pfeiler a auf den mit Bohlen bedeckten Schwellen b ruht, und dessen Zwischenwand c mittelst der Querhölzer d von den Tragbalken e gestützt wird. Die Mauerung des Widerlagers erfolgt gleichzeitig mit der des anstossenden Unrathsammlers in Schächten nach der oben angegebenen Reihenfolge. Die angewendete Schachtzimmerung ist sehr empfehlenswerth: sie ist eine Bolzenschrottzimmerung mit Schachtgevieren aus 203 *mm* hohen und ebenso breiten Jochen f, Kappen g und Einstrichen h. An jedes Jochende (s. Fig. 10 Taf. III Schachtzimmerung) sind Knaggen mit je 3 Nägeln von 15 *cm* Länge und 2 Rollbahnhakennägeln befestigt; die Kappen und Einstriche stossen stumpf an die Joche an, können aber nicht herunterfallen, weil sie mit aufgenagelten 38 *mm* starken Brettchen versehen sind, welche über die Joche greifen. Zwischen den Schachtgevieren sind Bolzen i von quadratischem Querschnitt von 152 *mm* Seitenlänge gestellt. Die Verpfählung besteht aus 38 *mm* starken Brettern von 914 *mm* (3') Länge; Keile sind nicht vorhanden; mit Rücksicht auf das Anbringen der Pfähle ist an der Aussenseite jedes Joches und jeder Kappe der Länge nach ein Brett von 153 *mm* Breite und 38 *mm* Dicke aufgenagelt. Dadurch entsteht zwischen den zuletzt eingebauten Hölzern der Schachtgeviere, der Verpfählung und den Längsbrettern eine Nut von 50 *mm* Tiefe und 38 *mm* Weite, welche das Anstecken der neuen Pfähle ausserordentlich erleichtert. Da auch das Verlegen der mit den Knaggen und übergreifenden Brettchen versehenen Joche und Kappen keine besondere Schwierigkeit bereitet, genügt zur Anbringung der Zimmerung im Allgemeinen ein Mann, dem nur bei einigen Handgriffen ein zweiter helfen muss. Bezüglich der Zimmerung soll ferner bemerkt werden, dass man bei der Untergrundbahn nur behauenes Holz verwendet, und nicht Rundholz, welches überhaupt in englischen Zimmerungen wenig gebraucht wird.

Im Firststollen liegt durchweg ein Rollgeleise, welches man erst entfernt, wenn es ans Wölben geht; in den Erweiterungen wird der Kiesaushub gesiebt und der Beton bereitet; der unverwendbare Boden wird unter die Strassenöffnungen gefahren und mittelst sehr handlicher, drehbarer Dampfkrahne [1]) gehoben und in die Pferdekarren verfüllt. Der Verkehr der mit Ziegeln, Cement u. dergl. ankommenden und der mit Erde wegfahrenden Karren und die Bewegung der über den Brettereinzäunungen hervorsehenden Krahnenden ist die einzige sichtbare Thätigkeit.

Gasröhren und Wasserleitungsröhren werden durch Hölzer oder Seile unterstützt, wie es geht; stets zweigt man mit Gasleitungen ab, um die Baustelle thunlichst mit Gaslicht zu beleuchten. Ferner werden, wie schon Ržiha berichtet, auch gegenwärtig nur Unschlittkerzen und Naphtalampen benutzt: unsere deutschen Grubenlampen trifft man nirgends an.

Wo die **Bahn unter Häusern** durchgeht, hilft man sich, wie es von Fall zu Fall am zweckmässigsten scheint, und die Sicherheit, mit der man die betreffenden Arbeiten vornimmt, muss jeden Wunder nehmen, der mit solchen Aufgaben nicht in ähnlichem Maasse vertraut ist. Der „Engineer" 1883, März S. 163, beschreibt den Entwurf für die Unterfangung eines neuen, schweren, fünfstöckigen Gebäudes, Queenstrasse 29, wie folgt. Aus dem Grundriss Fig. 13 a Tafel V ist zu entnehmen, dass die eine Wand unmittelbar über dem linken Widerlager steht. Man wird das Widerlager in einzelnen Pfeilern von 1,524 *m* (5') Länge aufbauen. Um die Vorderwand des Hauses zu unterfangen, betonirt man unter der Kellerflur, führt Ziegelmauern A (Fig. 13 b und 13 c) in Cement zwischen den gegenwärtigen Fensterpfeilern in die Höhe bis zum Fenstersturz und kann jetzt die alten Fensterpfeiler abbrechen. Gleichzeitig unterbaut man die Zwischenmauerung mit Zimmerungen C (Fig. 13 d). Jetzt wird das rechte Bahnwiderlager ausgeführt und, wenn es fertig ist, werden die beiden Widerlager durch eiserne Träger verbunden, welche unter den früheren Fensterpfeilern hindurchgehen und höher liegen als die Betonschichte. Es folgt die Wiederaufmauerung der Fensterpfeiler, die Herstellung der Tunneldecke durch Kappen zwischen den Blechträgern und der Abbruch der Mauern A.

Zwischen den Haltestellen Mansion-House und Cannonstreet (vgl. Fig. 1 Tafel I) wird die Bahn theils unter den Gebäuden, theils unter der Strasse, theils offen, d. h. nach Abbruch der Häuser gebaut werden; unter dem Vorplatz des heutigen grossen Bahnhofes Cannonstreet kommt eine Haltestelle; von da ab geht es durch die Cannonstrasse, unter das König-Wilhelm-Denkmal durch in die Haltestelle London-Bridge. In den folgenden Strassen Eastcheap und Little-Tower-Street ist die südliche, in der Great-Tower-Street die nördliche Häuserreihe niederzureissen, indem diese Strassen auf 18,288 *m* (60') erbreitert werden sollen; hiezu trägt nach dem Engineer die Gemeinde (Corporation) 500000 Pfund (10 Millionen Mark) bei. In die Seething-Lane kommt die letzte Haltestelle; hier schliesst sich die von der Metropolitan allein gebaute oben beschriebene Theilstrecke an.

---

1) Geliefert von Priestman Brothers in Hull und London. Die gleichen Dampfkrahne verwendet Walker in Penarth unweit Cardiff als Bagger zum Aushub eines Docks, wobei an jeden Krahn ein Baggereimer (Excavator) gehängt wird, der sich öffnet, sobald er den Boden berührt, und bei dem Wiederaufziehen der Krahnkette schliesst. Diese Krahnbagger werden auch in Deutschland benutzt, vgl. Centralbl. d. Bauverw. 1882, S. 434.

Die Unterfangung des King-William-Denkmals wurde im März (1883) nach folgendem Plane begonnen: 1. Aufmauerung zweier lothrechter Pfeiler unter dem Denkmal; 2. Herstellung der Tunnelwiderlager; 3. Mauerung eines schmalen Streifens Tunnelgewölbe, nämlich eines neun Rolllagen starken Gurtbogens und Gründung des Denkmals auf diesen Gurt; 4. Abbruch der Pfeiler, so weit als es nöthig ist und Erbreiterung des Gurtes. Vorsichtshalber wird die massige Steintrommel, welche die Bildsäule trägt, überdies abgestrebt.

Die **Haltestellen** (Fig. 14 a b und 15 Tafel V) der Strecke Mansion-House-Tower zeigen die bekannte Hauptanordnung: die beiden Bahngeleise gehen einfach durch, und rechts und links ist ein Perron. Auf jeder Seite sind zwei Treppen, eine für die ankommenden, eine für die abfahrenden Reisenden. Die Schalter befinden sich in gleicher Höhe mit der Strasse. In Aussicht genommen sind zwei Bauweisen: bei der einen ruhen die Fachwerke, welche die aus Längsträgern und zwischengeschalteten Kappen bestehende Decke tragen auf Säulen auf, bei der andern überspannen sie ohne Zwischenstützen die ganze Hallenweite. Zu den Haltestellen mit Säulen dürfte die Cannon-Street-Station gehören, welche nach Fig. 16 Taf. V ausgeführt werden soll. Doch sind Abweichungen wahrscheinlich, wie z. B. die links gezeichnete nischenförmige Bildung der Stützmauern entfällt und die Sielübersetzung in Dowgate-Hill etwas abweichend (vgl. Fig. 12 Tafel IV) gebaut wurde.

Zu besonderem Danke bin ich verpflichtet für die freundliche Erlaubniss zur Besichtigung dieser Arbeiten Sir John Hawkshaw und Herrn Thomas Walker, für die liebenswürdige Führung und zahlreiche Mittheilungen den Herren Wardhaugh und Bates.

East-London-Spur-Line.

Eine weitere ebenfalls im Frühling 1883 in London entstehende unterirdische Bahnstrecke war die East-London-Spur-Line d. i. die Verbindung der East-London-Railway von Whitechapel aus mit der Station Aldgate der Metropolitan-Bahn. Herr Walker, auch hier Unternehmer, führte den Bau auf ähnliche Weise wie den der Strecke Aldgate-Mansionhouse aus. An der Stelle, wo die *Spurline* (Spornlinie) von der bestehenden Bahn abzweigt, liegt diese im Tunnel unter Häusern. Man baute stückweise die neuen Widerlager, legte Blechträger auf, verband diese mit Zwischengewölben und brach unter ihrem Schutze das alte Bahngewölbe ab. Gleich nach der Abzweigung muss die Bahn unter dem grossen London-Hospital durch; die betreffende Arbeit sollte nur von den Ausgangspunkten aus vorgenommen werden, ohne irgendwelche Störung im Krankenhause zu verursachen. An das Krankenhaus schliesst sich eine im März 1883 schon vollendet gewesene Strecke unter der Whitechapel-Strasse. Der Vorgang unterschied sich von dem oben beschriebenen (s. S. 7) nur dadurch, dass man in Whitechapel zunächst den Bahntunnel für sich allein herstellte und später behufs Mauerung der Abwassersammler links und rechts des Tunnels bergmännisch vorging. Querbalken und doppelter Bohlenbelag ersetzten auch hier das Strassenpflaster, und es wird mit gerechtem Stolz hervorgehoben, dass die von 5 Uhr Morgens bis 2 Uhr Nachts verkehrende Trambahn keine Minute lang durch den Umbau des Pflasters oder den unter ihr vor sich gehenden Bahnbau gestört

wurde. In dieser Strasse lag zudem ein 0,457 *m* weites Wasserrohr und ein Gasrohr von 0,914 *m* Durchmesser. Herr Chapman, Ingenieur der Unternehmung, hatte die Freundlichkeit, mir diese Strecke zu zeigen, und es sei diesem Herrn mein bester Dank ausgedrückt.

Der zweite Belsize-Tunnel in London.

Die Midland-Railway besitzt unweit ihres Hauptbahnhofes noch im Weichbilde der Stadt London einen in den Jahren 1865 bis 1868 erbauten zweigeleisigen Tunnel, welcher bei dem zunehmenden Verkehre durch Einlegen von weiteren Schienensträngen, wie nebenstehende Skizze es erläutert, in gewissem Sinne viergeleisig gemacht wurde, eine Einrichtung, die sich bei vielen vorläufigen Herstellungen empfiehlt. Um die Geleiseverschränkung zu beheben, wird nun unter Leitung des bekannten Ingenieurs Wm. H. Barlow, F. R. S., M. I. C. E. ein zweiter Tunnel hergestellt, welcher zwei der obigen Geleise aufnehmen soll. Die Hauptdaten lauten wie folgt (Fig. 17 Taf. VI). Der Tunnelanfang (Nordende) liegt bei 544,15 *m*, das Ende (Südende) bei 1999,97 *m*; die Länge ist daher 1455,82 *m*; an sie schliessen sich noch 213,84 *m*, welche offen ausgeschachtet wurden und später eingewölbt werden sollten. Die Axe ist bis auf einen mittleren Bogen von 441,53 *m* Länge und 3218,6 *m* (2 Miles) Halbmesser gerade. Das Gefälle beträgt 1 : 184. Der Tunnel wurde April 1881 begonnen, war März 1883 zu drei Vierteln fertig und sollte Februar 1884 ganz vollendet sein. Er liegt durchaus im Londoner Thon (*London clay*), welcher aber Dank der Nähe des alten Tunnels ganz trocken ist. Die Entfernung der Axen des alten und neuen Tunnels misst nämlich am Ausgange 40,2 *m*, am Eingange 15,2 *m*.

III. Gleis IV. Gleis

I. Gleis II. Gleis

Der Aushub erfolgte, da an Querschlägen vom alten Tunnel aus des starken Verkehres wegen nicht zu denken war, von den beiden Mundlöchern und 6 Schächten von kreisförmigem Querschnitt und 3,048 *m* (10′) lichtem Durchmesser aus, deren Vertheilung aus nachstehender Zusammenstellung erhellt.

Schacht	Lage *m*	Tiefe *m*	Bestimmung
I	623,61	25,91	wird wieder ausgefüllt
II	804,65	28,96	bleibt bestehen
III	1066,17	31,70	„ „
IV	1339,75	30,78	„ „
V	1649,55	28,96	„ „
VI	1815,10	23,77	„ „

Neben jedem der 6 Hauptschächte lag in 18 bis 40 *m* Entfernung ein kleiner Nebenschacht, welcher blos zur Uebertragung der oberirdisch abgesteckten Linie nach

unten diente, bei 5' (1,524) lichtem Durchmesser eine einen Stein starke Ziegelverkleidung besass und, nachdem er seinen Zweck erfüllt hatte, wieder eingefüllt wurde. Von den Hauptschächten, welche nach Fig. 18 Taf. VI ausgemauert werden, sollen fünf zur Lüftung des Tunnels dienen und diese erhalten einen aufgesetzten Schornstein.

Der Querschnitt der Tunnelmauerung (siehe Fig. 18 Taf. VI rechte Seite) hat eine zur Druckaufnahme wohl geeignete Form mit einem kleinen Krümmungshalbmesser am Scheitel und allmäliger Ueberführung der Widerlager in das Sohlgewölbe. Diese Gestalt scheint dort die theoretisch richtige, wo an der Sohle ein Druck von unten nach oben herrscht. Es sollen Erfahrungen an älteren Tunneln zu dieser Formgebung geführt haben; es ist bemerkenswerth, dass der ebenfalls im Londoner Thone erbaute sehr druckhafte Sydenhamer Tunnel[1]) erst hielt, nachdem man seinen von Anfang an elliptischen Umriss der Kreisform fast ganz genähert hatte. Der Londoner Thon neigt zur Anschwellung bei Luftzutritt; so brach in Belsize eine vierkantige, 305 *mm* breite und ebenso dicke Wandruthe aus *ordinary Memel* (aus einem Ostseehafen bezogenem Tannenholz), ohne dass nach Entfernung derselben irgend welcher Thon herunterfiel[2]). Der Streifen, den die Wandruthe zu tragen hatte, war etwa 0,91 *m* breit und ihre freie Länge betrug 2,44 *m*, so dass sich bei einem Druck (in Tonnen) p per Quadratmeter das Biegungsmoment zu $\frac{1}{8}$ $p \,.\, 0{,}91 \,.\, \overline{2{,}44}^2 = 0{,}678$ und bei einer Festigkeit des Holzes von 0,5 *t* pro *cbm.* das Widerstandsmoment des Stabes zu $\frac{\overline{0{,}305}^3}{6} \,.\, 5000 = \frac{28{,}37 \times 5}{6} = 23{,}64$ berechnet, woraus sich $p = \frac{23{,}64}{0{,}678}$ zu 35 Tonnen per Quadratmeter ergibt. Gröger[3]) gibt auf Grund von Untersuchungen an gebrochenen Hölzern den Firstendruck im Vollausbruch bei festem Tegel (Thon) mit Glimmersand zu 36, bei nassem lockerem blauem Tegel mit Glimmersand zu 54 an und schätzt den Sohlendruck auf 16 bezw. 32 Tonnen[4]). Die Ummauerung ist 0,914 stark; sie besteht dort, wo die Krümmung am stärksten ist, nämlich an den Stellen, wo das Sohlgewölbe in die Widerlager übergeht (Halbmesser 2,756 *m*), aus einzelnen Rollschichten, während das Uebrige im Verband hergestellt ist. Die angewendeten Ziegel sind blaue, stark gebrannte, schwere Klinker aus Staffordshire, welche den innern Kranz bilden, und rothe Ziegel, die aus den gewonnenen Bergen selbst gemacht werden, zu welchem Behufe vor dem Tunnel eine Ziegelei mit einer Leistungsfähigkeit von 20000 Stück Ziegeln im Tag eingerichtet wurde. Da man einen Zusammenhang zwischen der Biegungsfestigkeit und der Druckfestigkeit der Ziegel fand, untersucht man sie jetzt blos auf Biegung mittelst einer einfachen Hebelpresse mit Wag-

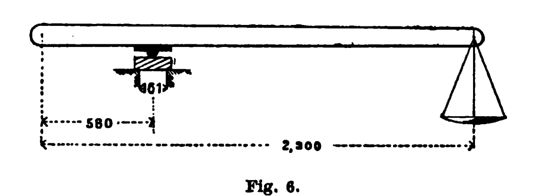


Fig. 6.

1) On Tunnel Construction and on the Sydenham Tunnel by A. E. Baldwin, Minutes of Proceedings of the Institution of Civil-Engineers Vol. XLIX London 1877 S. 232 u. f.

2) Aehnliche Erscheinungen schildert auch Baldwin.

3) Die Statik d. Tunnelgewölbe Prag, 1881 S. 28.

4) Vgl. auch Zeitschr. d. öst. I. u. A. V. 1882 S. 118.

schale, wobei sich die Bruchbelastung der blauen Steine etwa doppelt so gross herausstellt als die der rothen. Der Mörtel besteht aus gleichen Theilen Ziegelmehl, Kalkteig (aus Kalkstein der Juraformation) und Sand. Das Ziegelmehl wird an Ort und Stelle dargestellt, indem man kleine Meiler bildet mit einem Kohlenkern und abwechselnden Hüllen von Thon und Kohle; der Meiler liefert zunächst „burned ballast"[1]) d. i. Ziegelschotter, der auch im Oberbau des Tunnels Verwendung findet. Der Mörtel wird in einer Mörtelmühle bereitet: man wirft in den Mahltrog zuerst 26 Schaufeln Ziegelschotter (*burned ballast*), bringt, wenn dieser zerrieben ist, ebenso viel Kalkteig auf, setzt später den Sand zu und hält die Mühle noch im Gange, bis die innige Mengung vollendet ist. Die Wahl des genannten Mischungsverhältnisses wurde durch einen ziemlich rohen Versuch beeinflusst. Man mauerte 3 Säulchen, jedes $1^1/_2$ Stein im Quadrat stark und 3 Fuss hoch; benutzte dabei Mörtel von den Zusammensetzungen 1 Ziegelmehl, 1 Sand, 1 Kalk; 2 Sand, 1 Kalk; sowie 2 Ziegelmehl, 1 Kalk und gab ihnen 31 Tage zur Erhärtung. Dann kippte man die Säulen bis zur Gleichgewichtlage um eine Fusskante und liess sie in dieser Stellung los, so dass sie umfielen. Blos die Säule mit dem Mörtel der erst beschriebenen Zusammensetzung blieb ganz, während die anderen Säulen brachen.

Die Zimmerung erfolgt in der vollen Brust mit Querpfählen und Kronbalken nach der gewöhnlichen, bekannten, englischen Methode und entspricht fast genau den Figuren 19 a b c Taf. VI. Diese Zeichnungen betreffen einen in den Jahren 1878 bis 1881 bei Glaston in Northhamptonshire ausgeführten Tunnel. Von den Kronbalken werden in Belsize die unteren, in dem Maasse, wie die Wölbung emporwächst, fortgenommen, die 5 obersten in der Regel vorgezogen und nur unter Häusern, bei Druck und in Schlussringen eingemauert. Die Mauerung erfolgt in Längen von 3,734 *m* und zur Einwölbung dienen 3 Gruppen Lehrbogen, so dass immer 2 Längen noch auf der Schalung ruhen, während die dritte im Bau ist; das Aufstellen der Lehrbogen wird durch kleine, seitliche, gemauerte, nach der Entfernung der Lehrbogen wieder abzubrechende Pfeiler erleichtert, deren geschichtlicher Ursprung vielleicht in den zur Aufstellung der Lehrbogen benutzten Leinpfaden der alten Canaltunnel zu suchen ist. Alle 10,058 *m* werden zwei einander gegenüberliegende Nischen von 1,219 *m* Breite und 0,457 *m* Tiefe angebracht (siehe Fig. 18 Taf. VI).

Der eiförmige Tunnelumriss bedingt ein tiefes Sohlgewölbe; und zwar liegt dessen tiefster Punkt 1,601 *m* unter Schienenhöhe; bis 0,914 unter Schienenhöhe ist die Höhlung mit Lehm angefüllt, darüber kommen etwa 30 *cm* Ziegelschotter (*burned ballast*), endlich gewöhnlicher Bahnkies, in dem die beiden Geleise mit Querschwellen und Stuhlschienen eingebettet sind. Zur Entwässerung dient eine im Lichten 0,610 hohe und ebenso weite, gemauerte Dohle mit 4 Reihen 0,025 *m* weiten, 1,829 *m* von einander abstehenden Oeffnungen.

Bezüglich der Förderung ist wenig zu bemerken; oberhalb des ganzen Tunnels läuft eine Rollbahn zur Förderung der Berge, der Ziegel u. s. f. An den Schächten sind Seiltrommeln angebracht, welche von Locomobilen in Gang gesetzt werden. Ueber jeder Hängebank befindet sich eine hochgestellte Schiebebühne, auf welche die emporgehobenen Kübel herabgelassen werden; dann wird die Schiebebühne weiter

1) In wörtl. Uebersetzung gebranntes Bettungsmaterial.

gerollt, und der Kübelinhalt von oben in den Pferdekarren oder den Rollwagen gestürzt.

Die zwischen der Midland Railway und dem Unternehmer vereinbarten Preise sind:

Benennung	Mark p. lauf. Meter	Pfund p. lauf. Yard
Tunnel mit gewöhnl. Querschnitt	1872,79	85 *L* 12 *S* 6 *d*
Tunnel unter Schächten	2252,82	103 *L*
Schacht von 10' (3,048 *m*) Durchm.	656,16	30 *L*
Schacht von 5' (1,524 *m*) Durchm. sammt Wiederauffüllung	437,44	20 *L*

An dem südlichen Ausgange findet eine Erweiterung des Voreinschnittes des alten Belsize-Tunnels statt; daselbst standen beiderseitig Stützmauern (s. Fig. 20 a b Taf. VI), die gegen einander mittelst gusseiserner Steifen abgestrebt waren. Die Entfernung der Steifen bedingte eine Verstärkung der stehen bleibenden Futtermauer, zu welchem Zwecke stückweise an ihrer Rückseite Schächte ausgegraben und mit Cement-Beton ausgefüllt wurden; in 0,457 *m* lichter Entfernung gemauerte, 0,457 hohe Ziegelleisten, die 0,229 *m* in den Beton und 0,115 in das Mauerwerk eingreifen, stellen die Verbindung des alten Baues mit der Verstärkung her. Auf der anderen Einschnittsseite benutzte man den Grundbau der abgerissenen Futtermauer als Widerlager der neu aufgeführten, mit der man ihn durch Betonsteifen verband. Das Weitere: die Entwässerung, die gleichzeitige Verwendung von Beton und Ziegel, die Anbringung von Strebepfeilern nach dem Vorbilde der alten Mauer, die Fortsetzung des Bahnhofperrons bis nahe an den Tunnel, die Thonrohrentwässerung ergibt sich aus der Zeichnung.

Für die gütige Erlaubniss zur Besichtigung der Arbeiten und Benutzung der Zeichnungen bin ich Herrn Barlow, für die liebenswürdige Führung seinem Beamten Herrn Ingenieur Congreve zu Dank verpflichtet.

Durchgang unter der Themse bei Woolwich.

Unter der Themse liegen gegenwärtig bereits zwei Unterführungen[1]: der von Brunel in den Jahren 1825 bis 1828 und 1836 bis 1843 erbaute, berühmte, grosse *Tunnel*, welchen, wie oben erwähnt, gegenwärtig die East-London benützt und der von Pet. W. Barlow 1868 bis 1869 ausgeführte *Tower-Subway*, welcher in dichtem Londoner Thon liegt und bei einer Länge von 402,33 *m* eine eiserne, kreisrunde Röhre von 2,13 *m* Durchmesser darstellt. Dieser Durchgang wird gegenwärtig von Fussgängern gegen Entrichtung eines geringen Mauthgeldes viel benützt, obgleich, wie mir bei der Begehung schien, der Auf- und Abstieg durch die engen Wendeltreppen und die Einathmung der in Folge der Gasbeleuchtung und der geringen Wasserdurchsicke-

1) Eine kurze „Tunnelbauten unter Wasser" betreffende Zusammenstellung habe ich in d. deutschen Bauzeitung 1881, S. 366 veröffentlicht.

rungen schwülen Luft manche Leute vom Durchgange abhalten müssen. Die unterste Themsebrücke ist die London-Bridge, etwa 600 *m* stromabwärts liegt der Tower-Subway (vgl. Fig. 1 Tafel I); bereits vor einigen Jahren sollte ein weiterer Durchgang in Woolwich (Fig. 21 Taf. VII) etwa 13 *km* stromabwärts von London-Bridge, entsprechend ungefähr 9 *km* Luftentfernung, in Angriff genommen werden. Der Umriss des Stollenquerschnittes dürfte (siehe Fig. 22 b Taf. VII) einen überhöhten Halbkreis von 4,572 *m* Durchmesser darstellen, den ein 0,457 *m* starkes Gewölbe umgibt; die Höhe soll 2,667 *m* oder mehr, je nach der noch nicht festgesetzten Form des Sohlgewölbes betragen.

Anfang 1879 schüttete man eine kleine Fläche an, damit der Schachteingang (Fig. 22 a Taf. VII) über Hochwasser liege und senkte von da einen runden eisernen Schacht von 2,388 *m* Lichtweite ab. Die durchteuften Schichten sind:

Angeschütteter Boden	1,75 *m*
Thon	5,11 „
Torf	0,91 „
Kies	9,14 „
Kreide	3,35 „
Feuersteinlager	0,30 „
Weiche Kreide	0,91 „
Feuersteinlager	0,15 „
Wasserdurchtränkte weiche Kreide	0,69 „
Feuersteinlager	0,08 „
Feste Kreide	1,45 „
Feuersteinlager	0,08 „
Zusammen	23,92 *m*

Am 27. August 1880 wurde mit dem Vortrieb des Schachtes aufgehört und die Arbeiten ruhten zunächst, dürften aber heute bereits im lebhaften Fortgange sein, da Herr T. Walker die Ausführung übernommen hat. Im März v. J. war ein vorläufiger Entwurf einer Luftschleuse (Fig. 23 Taf. VII) gezeichnet und es sollte baldigst mit ihrer Aufstellung und dem Auspumpen des Schachtes begonnen werden; es war damals beabsichtigt, nach dem Beispiele des Hudsontunnels in New-York unter Luftdruck zu arbeiten und dadurch den Wasserzudrang aus dem Flusse und etwelchen Quellen zu verringern. Einstürze wie beim Lehm des Hudsontunnels sind in Woolwich nicht zu befürchten, da dieser Durchgang in der Kreide liegt, und so darf man auf eine glückliche Vollendung des Stollens hoffen. In Fig. 21 Taf. VII ist die Lage des Durchganges näher angegeben. Die betreffenden Daten verdanke ich der freundlichen Aufnahme im Bureau des Herrn Walker.

Ein weiterer Themse-Durchgang, den Siemens mit einer elektrischen Bahn versehen wollte, neben der Waterloo-Brücke — d. i. 2 *km* oberhalb London-Bridge — dürfte gegenwärtig bereits im Bau sein; und manche andere Unterstechungen wurden wenigstens vorgeschlagen. Im Allgemeinen hat es sich an der Themse gezeigt, dass eine sorgfältige Bodenuntersuchung zur Auswahl der geeignetsten Kreuzungsstelle von der grössten Bedeutung ist für die Sicherheit und den Kostenaufwand eines Tunnelbaues unter Wasser.

Der Mersey-Tunnel.

Einleitung. Die tief in das Land einschneidenden buchtartigen Mündungen der englischen Ströme, welche, zur Befahrung mit Seeschiffen und zur Anlage von Häfen aller Art tauglich, in hohem Grade zur Ausdehnung des Handels und zur maritimen Bedeutung Englands beigetragen haben, und welche an ihren Ufern die grössten und blühendsten Städte der städtereichen Insel emporwachsen liessen, bieten dem dichteren Schlusse des Eisenbahnnetzes gerade an diesen Brennpunkten eines regen Verkehres ein nicht zu unterschätzendes Hinderniss. Mehr und mehr geht man daran, die Hemmnisse zu besiegen und die bisherigen Umwege der Bahnen zu kürzen: diesem Bestreben haben zahlreiche Brücken, darunter vielleicht die bekanntesten, jene über den Firth of Forth und Firth of Tay, sowie die Tunnel unter dem Mersey und dem Severn ihre Inangriffnahme zu danken. Bei solchen Entwürfen kehrt die Frage wieder, ob unterirdisch oder oberirdisch vorzuziehen sei, und bei den wechselnden Kosten eines Tunnels und einer Brücke lässt sie sich nicht ohne weiteres beantworten. Der Preis des laufenden Meters eines Tunnels wächst mit der Länge des letzteren, hängt vor allem aber von der Beschaffenheit des zu durchörternden Gebirges, also dem Drucke und dem Wasserandrange, sowie der Härte des Gesteines ab, während für die Kosten einer Brücke die Schwierigkeit der Gründung und die Höhe der Pfeiler und die in Folge dessen gewählten Spannweiten maassgebend sind. Es soll eine Zusammenstellung folgen, welche einige der theuersten zweigeleisigen Tunnel betrifft:

Name:	Länge:	Kosten in Mark f. d. lauf. Meter:
Themse	366	27600 bis 32800 (?)
Lupkow (Karpathen)	416	17000
Czernitz (Schlesien)	503	4050
Sydenham (südl. v. London)	2012	2628
Mont Cenis	12849	4900 (?)
Gotthard	14900	etwa 3220.

Gewöhnlich ist der lfd. Meter viel billiger und darf vielleicht recht rund zu 1000 Mark gerechnet werden. Das Gelderforderniss für eine Brücke schwankt kaum weniger, wie aus nachstehenden Angaben folgt:

Name	Länge	Kosten in Mark pro lauf. Meter.	Quelle
Thouars-Viaduct	261,6	3000	Rziha Eisenb. Ober- und Unterbau II. S. 234
Viaduct d'Ahun	338,7	3600	Rźiha S. 234
Rheinbrücke der Staatsb. bei Coblenz	393,45	{ 8000 sammt Wasserbauten 5600 ohne Wasserb.	Zeitschr. f. Bauwesen 1881
Saaneviaduct	396	5100	Rźiha S. 234
Ohiobrücke bei Cincinnati	503	16000	Rźiha S. 446
Garabit-Viaduct	553	4500 (veranschlagt)	Zeitschr. f. Bauk., 1882, S. 466
Leckbrücke bei Kuilenburg	665,9	7400	Rźiha S. 303
Elbebrücke bei Magdeburg	671,3	3100	Rźiha S. 407
König Wilhelmsbrücke über den Rhein bei Hamm	829	4300	Rźiha S. 419
Memelthalbrücken (Memel, Uszlenski und Kurmerszeris)	1315,3	2100	Zeitschr. f. Bauwesen 1878.
Forthbrücke[1]) mit 2 Oeffnungen zu 519 *m* und 2 zu 206 *m*	1624	16300 (veranschlagt)	Zeitschr. d. Ver. d. Ing. 1882.

1) Im Engineer vom 18. Nov. 1881, S. 367 findet sich ein „Eingesendet", welches die Meinung

Es sind demnach nur die theuersten Tunnel so kostspielig wie grössere Thal- oder Stromübersetzungen, und es ist wohl denkbar, dass trotz der hinzukommenden Rampen eine Unterstechung eine wesentliche Ersparniss gegenüber einer Ueberbrückung vorstelle: leider können aber bei Tunneln unter Wasser die bedeutendsten, unvorhergesehenen Schwierigkeiten eintreten; dieser Umstand und der grössere Zeitaufwand haben bisher die Entscheidung meistens zu Gunsten der Brücke ausfallen lassen.

Was den Tunnel unter dem Mersey zwischen den zusammen etwa 750000 Einwohner zählenden Städten Liverpool und Birkenhead betrifft, deren gegenseitiger reger Verkehr zur Zeit nur über Wasser stattfindet, obwohl er, wie Fox angibt, die hohe Jahresziffer von 26000000 Reisenden und 750000 Tons Güter erreicht, so sind mir die näheren Vorerhebungen nicht bekannt. Es genüge die Mittheilung, dass eine Brücke an dieser Stelle so hohe Pfeiler haben müsste, dass auch bei Fluth die Schifffahrt keine Störung erleiden würde, und dass ein fester Baugrund für die Gründung der Mittelpfeiler erst bei etwa 30 *m* unter mittlerem Hochwasser anzutreffen ist. Die Kosten der ganzen Anlage: Tunnel, unterirdische Haltestellen und Anschlussrampen, zusammen 4995 *m* lang, werden auf etwa $^1/_2$ Million Pfund, 10 Millionen Mark, geschätzt. Hievon waren 417920 Pfund Anfang 1883 gezeichnet, davon 288460 Pfund eingezahlt.

Bodenbeschaffenheit. Aus der Figur 24 Tafel VIII ist die ungefähre Lage zu ersehen. Nach T. Mellard Reade[1]) soll schon vor der Gletscherzeit ein Thal ungefähr an der Stelle des heutigen Flussbettes vorhanden gewesen sein, welches sich allmälig mit Meeresablagerungen, grösstentheils rother Thon mit eingelagerten Steinen (*boulder-clay*), ausfüllte. Nach dem Rückweichen des Gletschers soll der Fluss seinen heutigen Lauf angenommen haben, und es sei nicht unwahrscheinlich, dass stellenweise Ueberbleibsel der alten Thalauffüllung tief in das heutige Flussbett hinabreichen. Es ist Reade gelungen, Aufdeckungen der alten Bodenwindungen hier und dort bei Dockbauten anzutreffen, und seine früher ausgesprochene Meinung bestätigt zu finden. Dass das Vorhandensein von Thonnestern eine grössere Gefahr für die Bauarbeiten unter dem Mersey berge, ist übrigens nicht nothwendig, da der Thon wasserundurchlässig ist, und etwa die Festigkeit von Mergel besitzt. Grössere Bohrungen scheinen dem Bau nicht vorangegangen zu sein, da man sich damit beruhigte, dass zu beiden Seiten des Flusses der rothe Sandstein zu Tage tritt. Der bisher ausgeführte Tunnel liegt auch thatsächlich im rothen Sandstein, doch ist unter dem Liverpooler Kai die Sandsteindecke über der Firste sehr dünn, ja man hat vielleicht an einigen Stellen den rothen Thon berührt. Die Flussrichtung zwischen Liverpool und Birkenhead geht von Süd nach Nord und fällt mit dem Streichen der Schichten zusammen; diese verflachen sich von Westen nach Osten, also in der Tunnelrichtung unter einem Winkel mit der Wagrechten von 0° bis 4°. Der rothe Sandstein ist im Allgemeinen wasserführend und die Mehrzahl der öffentlichen

---

ausspricht, dass ein Tunnel unter dem Firth of Forth dort, wo die Brücke heute im Bau ist, mit einem Mittelschacht, also mit Vortrieb von 4 Oertern, nicht die Hälfte der für die Brücke nöthigen Summen erfordern würde. Das Gebirge besteht aus Sandstein, Schiefer, Kalk und Diabas. Im Laufe des Jahres 1884 dürfte im Parlamente die Concessionsertheilung für einen 24 *km* oberhalb der Brücke herzustellenden Tunnel von 1670 *m* Länge nachgesucht werden.

1) Builder Bnd. XLII, S. 144. Febr. 1882.

Brunnen der Umgegend entnehmen ihm ihren Wasserbedarf[1]); die Schichtenlage verursacht, dass das Wasser aus dem Mersey mehr gegen die Liverpooler Seite des Tunnels dringt als gegen die Birkenheader, wie der stärkere Salzgehalt — die Einsickerungen sind auf beiden Seiten brackig — und die grössere Wassermenge zeigen; so wurden Mitte März 1883 in Liverpool 15,9 *cbm* per Minute oder 22900 *cbm* täglich, in Birkenhead 11,4 *cbm* per Minute oder 16400 *cbm* täglich gepumpt, und so belief sich der stärkste beobachtete Wasserandrang in 24 Stunden in Liverpool wieder auf 22900 *cbm* in Birkenhead nur auf 19600 *cbm*. Die geringste Entfernung zwischen Flusssohle und Tunnelsohle misst[2]) 10 *m* bei einem mittlerer Abstande von 12 *m*.

Die **allgemeine Anordnung** ist aus dem auf einen willkührlich gewählten Horizont bezogenen Längenschnitt (Fig. 25 a Taf. VIII) zu ersehen. Die Flussbreite beträgt ungefähr 1080 *m*, und die Tunnellänge zwischen den Förderschächten 1598,3 *m*[3]). Rechts und links vom Flusse werden unterirdische Haltestellen angelegt; von diesen aus fallen die Geleise mit dem starken Gefälle von 1 : 30 bis zu den tiefsten, ungefähr 44 *m* unter Mittelhochwasser liegenden Tunnelpunkten und steigen dann der Entwässerung wegen wieder etwas an (unter 1 : 900 beziehungsweise 1 : 10219), bis sie sich in der Nähe der Flussmitte 43,99 *m* unter Mittelhochwasser treffen. Es sind Wasserstollen vorgesehen, welche unter dem Tunnel liegen, von seinen tiefsten Punkten ausgehen und mit schwachem Gefälle das Wasser in die Pumpschächte leiten.

Schächte. Es wurden im Ganzen[4]) vier Hauptschächte abgeteuft, deren gegenseitige Lage (Fig. 25 b) angibt, nämlich

1.	Pumpschacht zu Birkenhead	mit	5,344 *m*	lichtem	Durchmesser,	52,1 *m* tief.
2.	Förderschacht „ „	„	3,048 *m*	„	„	28,7 *m* „
3.	Pumpschacht „ Liverpool	„	4,572 *m*	„	„	53,5 *m* „
4.	Förderschacht „ „	„	3,658 *m*	„	„	28,7 *m* „

Der Liverpooler Förderschacht liegt über der Tunnelaxe, während bei den anderen Schächten in Folge von Grundeinlösungsschwierigkeiten eine solche Anordnung unmöglich war. Die Schächte sind im Allgemeinen gemauert; nur die unteren 15,2 *m* des Schachtes 3 und 7,6 *m* an einer wasserreichen Stelle des Schachtes 1 sind mit Eisen verkleidet. Die Pumpschächte gehen tiefer als die Sohle des Wasserstollens, so dass zwischen den Schachtsümpfen und dem Wasserstollen noch je ein kleiner Sammelstollen abgezweigt werden konnte, welcher bei kurzem Stillstand der Pumpen

1) Vgl. Engineering v. 29. Sept. 1876, Auszug aus dem Vortrage von C. E. de Rance vor der British Association über den Wassergehalt des neuen, rothen Sandsteins und der Permformation.

2) Nach Charles Douglas Fox M. I. C. E.: The Mersey Railway, Contract Journal vom 3. und 10. October 1883 und Vortrag vor der British Association im Sept. 1883. Abweichend hievon gab Fowler vor der British Association (Iron, 1882, Bd. XX, 1. Sept.) den kleinsten Abstand zu 6,7 *m* an; nach einem Aufsatz im „Liverpool Mercury“ vom 31. März 1883 ist er 7,6 *m*. Auf einem mir gezeigten Längenschnitt fand ich ihn 11,3 *m* hoch gezeichnet. Zum Theil mögen diese Abweichungen daher rühren, dass die Tiden grosse Schlammmassen hin- und herbewegen, welche den Felsen in wechselnder Höhe überdecken.

3) Die auf das Längenprofil bezüglichen Maasse sind einer Zeichnung entnommen und dürften daher theilweise nicht ganz genau sein. Der Wasserstollen ist nach Fox zwischen den Pumpschächten genau 1622,1 *m* lang.

4) Hiezu kamen im Herbst 1883 noch 2 Absenkungen von 3,1 *m* Weite und 7,6 *m* Tiefe, welche von der Tunnelsohle ausgehend in den Wasserstollen münden.

z. B. bei Auswechslung der Ventilklappen, bei Unfällen u. dgl. als Wasserbehälter dient. Nebenstehende Figur stellt das Schachtende bei Liverpool dar: dieser Sammelstollen hat einen kreisförmigen Querschnitt von 1,68 *m* Durchmesser und ist mit Eisen verkleidet. Später als die Pumpschächte, welche übrigens sowohl mit Pumpen als mit Förderanlagen versehen sind, wurden die blos zur Förderung der Tunnelberge dienenden und daher nicht tiefer als bis zur Tunnelsohle reichenden Förderschächte abgeteuft.

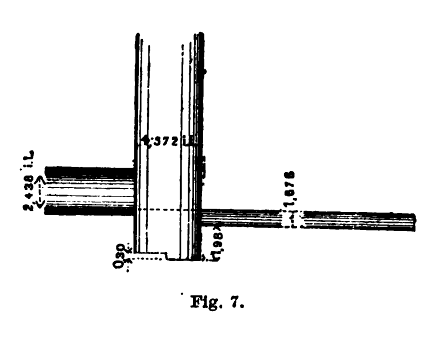


Fig. 7.

Der **Tunnel** (s. Fig. 26 Taf. VIII) enthält 2 normalspurige Geleise, ist 7,924 *m* im Lichten weit und 7,010 *m* im Lichten hoch und wird unter den Ufern mit einem aus vier, unter dem Flussbette mit einem aus sechs Rollschichten bestehenden Gewölbe und einem 0,457 *m* starken Sohlgewölbe versehen. Die Rollschichten sind 0,114 *m* stark und werden an jenen Stellen durch Binderscharen verbunden, wo die Lagerfugen zufällig zusammentreffen. Zu den 2 inneren Schichten verwendet man blaue Klinker aus Staffordshire, zu den äusseren gewöhnliche, rothe Ziegel, zur Hinterfüllung Ziegel- und Bruchsteinstücke; gemauert wird blos in Portlandcement vom Mischungsverhältnisse 1 Theil Cement auf 2 Theile scharfen Sand. In Querringe ist der Tunnel nicht getheilt, weil die Stossflächen der Querringe zuviel Wasser durchlassen würden. Bei Anwendung von 4 Rolllagen beträgt die Fläche des Ausbruchs 58,78, der Mauerung 12,79 *qm*. In passenden Entfernungen werden Tunnelnischen gebildet. Von jedem Förderschachte aus arbeitete man nach beiden Richtungen; es wurde nach der englischen Methode gezimmert, geradeaus weitergegangen und dem vollen Querschnitt ein Firststollen (1,8 *m* hoch, 2,4 *m* breit) auf 9 bis 12 *m* vorangetrieben. Als Sprengmittel diente Tonit. Da der Wasserstollen dem Tunnel vorauseilte, entledigte man sich des Wassers im Tunnel durch lothrechte Wasserlöcher von 8 *cm* Durchmesser. Von einer solchen Oeffnung (siehe nebenstehende Figur) liess man die Tunnelsohle gewöhnlich sanft ansteigen, bis man ein neues Loch durchstiess und nahm dann die Sohle zwischen beiden Oeffnungen nach. Unter den Kaimauern, dort wo das Mauerwerk an Stärke wechseln soll (Prof. 850 und 1930), hatte man den Fels in einer Mächtigkeit von 8,7 *m* in Birkenhead, bezw. von 8,2 *m* in Liverpool, stehen lassen und blos einen Sohlstollen von 2,13 *m* Höhe durchgetrieben; für den Fall eines Wassereinbruchs sollten sich Thüren wasserdicht gegen diese Felswände lehnen und ein rasches Ersäufen der ganzen Anlage verhindern. Man fühlte sich jedoch, als ich im April 1883 die Baustelle besuchte, bereits so sicher, dass man diese Felsköpfe wieder entfernen wollte. Unter dem Flussbett änderte man die Bauweise, indem man hier einen Sohlenstollen voranschreiten liess. Ferner bleiben da nie mehr als 3,6 lfd. Meter Tunnel unverkleidet, indem man mit der Mauerung dem Ausbruch so rasch wie möglich folgt.



Fig. 8.

Von etwa Profil 343,5 bis 465,4 oder unter dem Hamilton-Square in Birkenhead und von 2231,0 bis 2352,9 oder unter der Jamesstrasse in Liverpool sind die Tunnel-

auffahrten nach dem Muster der Londoner Untergrundbahn als Haltestellen ausgebildet (vgl. Fig. 27 a b Taf. VIII) nämlich erweitert, erhöht und mit Perrons versehen. Bei dem Baue der Haltestelle Birkenhead stellte man unter dem Schutz von Kronbalken zuerst das Gewölbe her, schlitzte dann in der Axe durch und unterfing später das Gewölbe mittels der Widerlager. Es sei nebenbei bemerkt, dass sich hier das Gebirge ganz fest, aber leicht sprengbar und trocken zeigte. Die Haltestelle Liverpool konnte ich nicht besuchen, da in Folge eines Unfalles an einer Pumpe diese ganze Seite des Baues unbefahrbar war; doch scheint es, dass man auch hier auf belgische Weise verfuhr, erst das Gewölbe mauerte und dieses dann unterfing. Die Haltestellen sollen später elektrisch beleuchtet und mit hydraulischen Aufzügen für Personen und Personengepäck versehen werden, und die Zugänge zu den betreffenden Schächten, die im ursprünglichen Plane nicht angegeben waren, sah ich in Birkenhead bereits ausbrechen; in Fig. 27 b Taf. VIII sind sie, so weit sie erkennbar waren, angedeutet.

Die Förderung im Tunnel geht zum Theil mit Hülfe von Pferden vor sich, bietet übrigens nichts Ungewöhnliches.

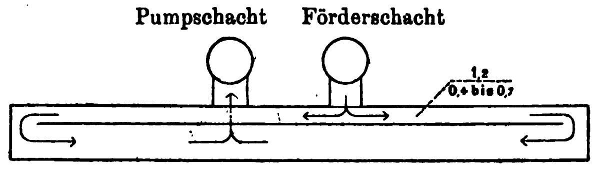


Fig. 9.

Die Lüftung benützt den Umstand, dass von den Pumpschächten zunächst nicht nur der Wasserstollen, sondern auch der Tunnel vorgetrieben werden sollte, und dass daher die Pumpschächte mit dem Tunnel in Verbindung stehen. Die frische Luft fällt im Förderschacht ein, wird durch hölzerne Wetterlutten nach beiden Richtungen fortgeführt und in der Nähe der Oerter ausströmen gelassen. Die verdorbene Luft entweicht durch eine andere Lutte, die sich im Pumpenschacht befindet und in einen ohnehin benützten Schornstein mündet. Die Luft im Tunnel schien mir sehr gut: allerdings war zur Zeit die durchörterte Strecke noch nicht lang.

An den Stellen, wo nicht mehr gesprengt wird, ist die in englischen Gruben schon sehr verbreitete elektrische Beleuchtung eingeführt und zwar mit Hammond-Lampen und Brush-Maschinen.

Der **Wasserstollen** wurde an beiden Ufern mit einem kreisförmigen Querschnitt von 2,438 *m* Lichtweite (s. Fig. 28 a b Taf. VIII) begonnen, welchem man an den Punkten 895,8 und 1973,4, ohne die Sohle zu brechen (s. beist. Fig.), auf 2,134 *m* Durchmesser verkleinerte. Er ist in 3 Rollschichten, also 0,343 *m* stark in Portland-Cement ausgemauert und zwar mit 2 äusseren Lagen aus rothen und einer inneren aus blauen Ziegeln. Da sich das anfängliche Mischungsverhältniss des Cements von 1 : 3 nicht genügend wasserdicht zeigte, wandte man später ein Verhältniss von 1 : 2 an. Zu der Sohle verwendet man über Tage hergestellte Ziegelblöcke. Damit ein frisch hergestelltes Sohlenstück nicht sofort überschwemmt und der Cement zwischen den Blöcken ausgespült werde, legt man unter den Stollen einen in den Schachtsumpf mündenden Rohrstrang aus gusseisernen,

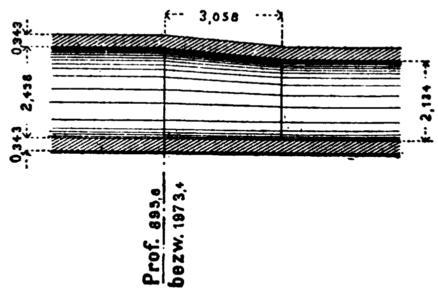


Fig. 10.

0,457 *m* weiten Muffenrohren und füllt den Rohrgraben mit Beton, so dass das Wasser so ziemlich nur vom Ende des Stranges in denselben hineinläuft. Die Verlegung der Rohre schreitet der Mauerung des Stollens voraus. Das Stück zwischen 2114,2 und 2056,6 unter dem Liverpooler Ufer war so nass, dass sich ohne Weiteres nicht mauern liess. Hier legte man zunächst eine hölzerne Auskleidung (*planked tubbing*) ein, eine Ausführungsweise, welche im weiteren Verlauf nicht mehr nothwendig war. Man brachte im Stollen (sieh Fig. 29 a, b Taf. VIII) in 1,372 *m* Entfernung von Mitte zu Mitte, Kränze von Eichen- auch Eschenholz ein, keilte sie an die Stollenwände fest, benagelte sie an der Innenseite mit 0,051 starken Tannenbrettern von je 0,152 *m* Breite, und mauerte das entstandene hölzerne Fass mit zwei Ziegelringen, einem inneren blauen und einem äusseren rothen aus. Der Stollen ist wasserdicht gemauert und das zulaufende Wasser sammelt sich hinter der Mauerung und strömt an den Stellen aus, die eben in Arbeit sind; wird dieser Zufluss zu stark, oder sind irgendwo grössere Quellen, so mauert man Thonröhrchen von vielleicht 4 bis 5 *cm* Durchmesser ein, durch die der Wasserstrahl einen Ausweg findet, und verstopft, wenn der Cement genügend erhärtet ist, die Thonröhren durch eingetriebene Holzpflöcke. An einigen Stellen, so in der Nähe der Schächte, dann bei Prof. 895,7 und 2056,6 in der Nachbarschaft der Stollenverengungen versuchte man das hinter der Mauerung angesammelte Wasser durch gusseiserne Dammkränze (s. Fig. 30 a, b Taf. VII) abzudämmen. Das Sohlstück eines solchen Kranzes reichte tief herab und war durchbrochen, so dass man eine Röhre des erwähnten Rohrstranges durchstecken konnte; zwischen die einzelnen Ringstücke wurden 0,013 starke Holzschichten eingetrieben, die beim Nasswerden schwollen und dicht schlossen; ferner steckte man, um ein seitliches Ausweichen zu verhindern, eiserne 0,025 dicke Dübel ein, welche man in runde Nuten greifen liess, mit denen die Lagerflächen der Gussstücke versehen waren. Schliesslich verkeilte man den ganzen Raum zwischen dem Gusskranz und dem Felsen mit Holz. Da jedoch das Wasser um die Dammkränze herum durch den Felsen lief, bemühte man sich später mit Erfolg, die Leibung des Ausbruchs sorgfältig zu behauen, so dass man mit der Mauerung dicht an das Gebirge anschliessen konnte, und wendete keine Dammkränze mehr an. In der noch nicht gemauerten Strecke sieht man selten das Wasser an den Wänden herunterlecken; es bildet vielmehr an jeder Eintrittsstelle einen parabelförmigen, meist sehr dünnen Strahl; solche Strahlen springen unter allerlei Richtungen in den Stollen. Je weiter die Abdämmung voranschreitet, desto mehr wächst der Druck hinter der Verkleidung; er fand sich durch Messung mit dem Manometer hinter dem Eisen des Liverpooler Sammelstollens gleich dem einer Wassersäule von 18,2 *m* und ungefähr bei Prof. 900 hinter den Ziegeln des Birkenheader Wasserstollens gleich dem einer Säule von 11,9 *m* Höhe. Wenn übrigens die ganze Anlage fertig ist und sie vollkommen dicht hält, so dass sich das Wasser in Ruhe befindet, so muss, abgesehen von der ganz unbedeutenden Haarröhrchenwirkung, der Druck genau der Höhe des Merseyspiegels über dem Manometer entsprechen.

Eine Abweichung von der beschriebenen Bauweise des Stollens sollte dort stattfinden, wo die von Oberst Beaumont und Hauptmann English[1]) construirte Ma-

---

1) Eine Beschreibung der Maschine folgt anlässlich der Schilderung der Arbeiten zur Verbindung von England mit Frankreich.

schine zu arbeiten hatte, indem dieselbe eine kreisrunde, sehr glatte Röhre von 2,134 *m* Durchmesser ausbohrt, in welcher sich eine gusseiserne Verkleidung leicht anbringen lässt. Bei dieser Art der Stollenabbohrung entfällt die Anwendung der Sprengmittel, und es zeigte sich, dass das nicht erschütterte und zerrissene Gestein weit weniger Wasser ablieferte als früher das zersprengte, so dass man von jeder Auskleidung zunächst absehen konnte. Bei Profil 953,7 hielt man am 1. März 1883 mit dem gewöhnlichen Vortrieb ein und sprengte eine Kammer zur Aufstellung der Maschine aus, welche bei meiner Anwesenheit (Anfang April) bereits einige Tage im Gange war, sich aber noch grösstentheils in der Kammer und nicht in der von ihr selbst ausgebohrten, runden Strecke befand, so dass es noch allerlei Arbeit mit Hebeln und Winden gab, um die nothwendige Bohrrichtung zu erzielen. Das Bohren an und für sich ging sehr rasch und ruhig von Statten und so durfte man hoffen, dass die Maschine, welche sich in der Kreide von Calais und Dover bewährt hatte, auch im Sandstein gute Erfolge aufweisen werde. Die Maschine des Merseytunnels ist der in Calais unter dem Canal-la-Manche benutzten ähnlich, zeichnet sich jedoch dadurch aus, dass der mit Messern versehene Bohrkopf nicht hydraulisch gegen das Gestein gedrückt wird, wie es in Calais der Fall war; wohl sind aber 2 hydraulisch bewegbare Stempel vorhanden, um beim Vorrücken des Lagerschlittens die eigentliche Maschine gegen die Stollensohle zu stützen und mit dem Lager zu heben. Der Bohrkopf mit den Messern sitzt an einer centralen Schraubenwelle und die Steigung der Schraubengänge ist maassgebend für den mit jeder Umdrehung erzielten Fortschritt und man nimmt — ein ähnliches Princip verfolgt Ober-Bergrath Jarolimek bei seiner Gesteinsbohrmaschine[1]) — bei härterem Gestein eine Schraube mit flacheren, bei weicherem eine mit steileren Windungen. Ferner wird die Geschwindigkeit der Umdrehungen des Messerträgers derart gemässigt, dass keine Erhitzung der schneidenden Kanten eintritt. In Birkenhead betrug bei einer Umdrehung das Vorrücken $^3/_8'' = 9{,}5$ *mm* und man nahm an, dass der Bohrkopf zwei Umdrehungen per Minute mache, ferner dass $^1/_8$ der gesammten Arbeitszeit sich zum thatsächlichen Bohren benutzen lasse, und berechnete demnach für den regelrechten Betrieb eine Tagesleistung von

$$^3/_8'' \times 2 \times {}^1/_8 \times 1440 = 360'' = 9{,}14 \text{ lauf. Meter.}$$

Der Baufortschritt (s. unten) war zwar ein sehr rascher, aber diese Zahl wurde nicht erreicht. In Birkenhead arbeiteten gleichzeitig 20 Messer und zwar nicht gewöhnliche Bohrmeissel (Holzschnit a), sondern Scheibenmesser (Holzschnitt b) aus Hartguss. Die gewöhnlichen Messer (a) müssen, wenn sie abgenützt sind, ausgewechselt werden; wenn aber die Scheibenmesser an der eben gebrauchten Stelle ihres Randes stumpf geworden sind, genügt es, sie um ihre Axe xx zu drehen, so dass sie mit einem anderen Theile ihres Umfanges schneiden. Während der Arbeit drehen sie sich nur

a b x

Fig. 11.

1) Oberbergrath Jarolimek: Gesteinsdrehbohrmaschine mit Differential-Schraubenvortrieb des Bohrers, Wochenschrift d. österr. Ingenieur- und Architekten-Ver. 1881, S. 92 u. 95. Oesterreichische Zeitung f. Berg- u. Hüttenwesen 1881, S. 184, 199, 211, 1882 S. 103, 119, 132 u. f. Traduction de Ch. d'Ernst, Revue universelle des mines, 1881, t. X, p. 60—94.

um die Centralaxe des Bohrkopfes. Ein Stumpfwerden schien im rothen Sandstein nach je 6″ (152 *mm*) einzutreten. Die verdichtete Luft von 2,45 bis 2,8 Atmosphären Pressung wurde in einer Leitung von 4″ (102 *mm*) Durchmesser der zum Antrieb des Bohrkopfs dienenden Zwillingsmaschine von 305 *mm* Kolbendurchmesser und 457 *mm* Hub zugeführt. Der mit der Maschine erbohrte Stollen sollte zunächst als Wasserstollen bis zum tiefsten Tunnelpunkt (Profil 1167,5), dann als Tunnelsohlstollen bis zum Gefällbruch bei Profil 1453,4 geführt werden und unter Umständen von da weiter in die Höhe zu steigen, um als Firststollen auch die Vollendung der Liverpooler Hälfte zu beschleunigen. Das Fördern bei Anwendung der Beaumontmaschine wird dadurch erleichtert, dass sie selbstthätig die Hunde während des Bohrens füllt, und so sind im Ganzen nur 7 Leute vor Ort thätig.

Herr C. D. Fox M. I. C. E. spricht sich bezüglich der Maschine wie folgt aus: „Die hauptsächlichen Uebelstände bildeten die Schwierigkeit, in der gewünschten Richtung und Höhenlage zu bohren, der an trockenen Stellen entstehende Staub und die durch das Ausströmen der Luft verursachten Nebel.“ Kleinere Mängel liessen sich allmälig beseitigen. Die entströmende Luft lüftet andrerseits den Stollen, und zwar um so leichter in ausreichendem Maasse, als eine Verschlechterung durch Sprengarbeiten nicht mehr stattfindet. Man wollte früher die beidseitigen Wasserstollen mit gewöhnlichen Gesteinsbohrmaschinen ausarbeiten, ging aber davon ab und bediente sich der Compressoren zum Lüften; bei meiner Anwesenheit war der in Birkenhead nicht mehr im Betriebe, während man den in Liverpool weiter zur Lüftung benutzte. Richtiger wäre gewiss die Aufstellung eines Wetterrades gewesen.

Wasserhaltungsanlagen. In jedem Pumpschachte befinden sich gegenwärtig fünf Pumpen, welche, wie nachstehende Tabelle angibt, in der *Sch* einfachwirkende Hubpumpe mit Scheibenkolben und *T* einfachwirkende Druckpumpe mit Taucherkolben bedeutet, von drei Maschinen in Gang gesetzt werden.

Nr.	Lage	Maschine			Von der Maschine betriebene Pumpen		
		Anordnung	Kolbendurchmesser *m*	Hub *m*	Kolbendurchm. *m*	Hub *m*	Gatt.
1	Birkenhead	liegende Differential-Compound-Maschine treibt mittelst Kunstkreuz	0,838 bezw. 1,524	3,048	0,762 0,762	2,438 2,438	*Sch.* *Sch.*
2	ebenda	desgl.	0,508 bezw. 0,889	1,829	0,508 0,508	1,524 1,524	*Sch.* *Sch.*
3	ebenda	Woolf'sche Balanciermaschine mit Gegenbalancier	0,914 bezw. 1,397	3,200 bezw. 3,962	1,016	4,572	*T.*
4	Liverpool	liegende Differential-Compound-Maschine treibt mittelst Kunstkreuz	0,838 bezw. 1,524	3,048	0,762 0,762	3,048 3,048	*Sch.* *Sch.*
5	ebenda	desgl.	0,508 bezw. 0,889	1,829	0,508 0,508	1,524 1,524	*Sch.* *Sch.*
6	ebenda	Woolf'sche Balanciermaschine mit Gegenbalancier	0,914 bezw. 1,397	3,200 bezw. 3,962	1,016	4,572	*T.*

Die Compound-Differentialmaschinen, eine Erfindung des Herrn Henry Davey, wurden von Hathorn, Davey & Co. in Leeds [1]) gebaut. Sie haben kein Schwungrad, arbeiten aber doch mit hoher 8 bis 10facher Expansion und besitzen eine eigenthümliche Ventilsteuerung: ein unabhängiger Mechanismus trachtet die Ventile zu öffnen, während die Bewegung der Maschine selbst deren Schluss befördert. Der unabhängige Mechanismus lässt sich dem gewünschten Gange der Maschine entsprechend verstellen; eine Geschwindigkeitszunahme der Maschinenbewegung bewirkt dann einen rascheren Schluss der Ventile. Die Nützlichkeit dieser Vorkehrung zeigte sich zu wiederholten Malen, indem es dreimal vorkam, dass eine Maschine plötzlich ihre Last verlor und nur das eine Mal — am 17. März 1883 in Liverpool — eine Beschädigung stattfand, diese zum Theil dadurch, dass ein Arbeiter eine Schraube an einem der Kolben hatte vorstehen lassen, welche den Deckel zwischen dem Hoch- und Niederdruckcylinder zertrümmerte. Zunächst waren die liegenden Maschinen angeschafft worden, aber trotzdem

Maschine 1 . . . 1063 *cbm*
„ 2 . . . 436 „
„ 4 . . . 1309 „
„ 5 . . . 436 „

in der Stunde zu heben vermochte, also die gesammte Leistungsfähigkeit in 24 Stunden sich auf 77856 *cbm* bezifferte, stellte man der grösseren Sicherheit wegen Ende 1883 noch die Balanciermaschinen [2]) 3 und 6 auf. Sie sind nach Barclay's Patent vom 30. August 1861 gebaut und verdanken ihre Wahl dem Umstande, dass sie wenig Platz erfordern und Unfällen wenig ausgesetzt sind.

Die **Fördermaschinen** sind nachstehend zusammengestellt:

Nr.	Lage	Bezeichnung	Erbauer	Cylinder-durchm. *mm*	Hub *mm*	Schwungrad-durchmesser *mm*	Kesselpress. *Atm.*	Speise-pumpen	Durchm. der Seiltrommel *mm*	Seile (sämmtlich Stahls.)	Anmerkung
1	Birkenhead Pumpschacht	Locomobile m. Zwillingsmaschine	Fowler & Co. in Leeds	254	356	1.524	5,6	1 Speisep. a. d. Locomobile v. 76 *mm* Durchm. und eine Tangye-Pumpe	1,828	1	Unter Kesselpressung ist durchweg d. Ueberdruck verstanden.
2	ebenda	Liegende Zwillingsfördermaschine	?	305	356	?	4,9		1,219	1 zu 38 *mm*	Dampf von der Hauptkesselanlage.

1) Zahlreiche von dieser Maschinenbauanstalt ausgeführte ähnliche Wasserhaltungsanlagen finden sich in den letzten Jahrgängen des Engineering (z. B. Bd. XXXIII S. 8—9, Bd. XXVII S. 476—479, Bd. XXVI S. 197, Bd. XXIV S. 356—357) und Engineer beschrieben und abgebildet. Vgl. ferner: „Direct Acting or Non-Rotative Pumping Engines and Pumps" by Henry Davey, Assoc. Inst. C. E. Minutes of Proceedings of the Institution of Civil Engineers, 1878, Bd. LIII S. 98—129 m. Abb.

2) Fox nennt sie Compoundmaschinen. Aus der Beschreibung scheint hervorzugehen, dass sie nach deutschem Sprachgebrauch als Woolf'sche Maschinen zu bezeichnen sind, indem wir bei Compoundmaschinen die Anwendung eines Aufnehmers (Receivers) voraussetzen.

Nr.	Lage	Bezeichnung	Erbauer	Cylinder-Durchm. mm	Hub mm	Schwungrad-Durchmesser mm	Kesselpress. Atm.	Speise-Pumpen	Durchm. der Seiltrommel mm	Seile (sämmtlich Stahls.)	Anmerkung
3	Förderschacht	Locomobile m. stehender Zwillingsmaschine und stehendem Kessel	Alexand. Chaplin & Co. in Glasgow	229	406	?	4,8	2 Speisep. a. d. Locomobile u. e. Tangye-Pumpe v. 76 mm Durchm.	1,219	2	Der Kessel hat Gallowayröhren.
4	Liverpool Pumpschacht	Locomobile m. Zwillingsmaschine	Barrows & Stewart	216	305	1,524	4,55	1 Speisep. a. d. Locomobile	1,219	1	
5	ebenda	Liegende Zwillingsfördermaschine	?	305	356	?	4,9		1,219	1 zu 38 mm	Dampf von der Hauptkesselanlage.
6	Förderschacht	Locomobile m. Zwillingsmaschine	?	254	356	1,524	5,6	1 Speisep. a. d. Locomobile 1 Speisep. für sich	1,828	2	

Die gewöhnliche Förderung von Menschen, Pferden oder Bergen aus dem Wasserstollen findet durch die Maschinen 1 und 4 statt, und nur, wenn bedeutendere Lasten zu heben sind, kommen 2 oder 5 in Betrieb.

Compressoren. Die Beaumontmaschine bezieht ihre gepresste Luft von 2,45 bis 2,8 Atmosph. Ueberdruck von zwei Beaumont-Compressoren, welche von einer eincylindrigen Dampfmaschine von 0,610 *m* Hub und 0,457 *m* Kolbendurchmesser bewegt werden. Es befindet sich ferner in Birkenhead ein nach dem Patente von Hathorn & Co. in London bei Max Western & Co. in Lambeth, London, gebauter *Reliance-Compressor,* welcher gegenwärtig still steht, während in Liverpool ein anderer Reliance-Compressor zur Lüftung dient. Für den fertigen, dem Bahnbetrieb übergebenen Tunnel sind Ventilatoren in Aussicht genommen.

Sonstige Maschinen. Zwei kleinere Maschinen sind der elektrischen Beleuchtung wegen in Thätigkeit und treiben dynamo-elektrische Maschinen, System Brush, nämlich:

Lage	Bezeichnung	Erbauer	Cylinderdurchmesser mm	Hub mm	Schwungraddurchmesser mm	Kesselpressung	Speisepumpen
Birkenhead	Locomobile mit Zwillingsmaschine	Marshall & Sons in Gainsborough	264	406	?	4,2	1 Speisepumpe und 1 Injector, beide auf der Locomobile
Liverpool	Zwillingsmaschine mit stehendem Kessel	Barclay & Son in Kilmarnock	?	356	2 zu 1219	?	2 Injectoren

Endlich werden die Mörtelmühlen in Birkenhead und eine Kreissäge durch eine 14pferdige Locomobile von Ruston, Proctor & Co. in Lincoln in Gang gesetzt; deren Hauptdaten sind: Zwillingsmaschine, Cylinderdurchmesser 203 *mm*, Hub 305 *mm*, Schwungraddurchmesser 1,676 *mm*, Speisepumpe von 76 *mm*. In den offenen Bahneinschnitten wird eine etwa 25pferdige Locomobile mit Zwillingsmaschine benützt. (Cylinderdurchmesser 254 *mm*, Hub 356 *mm*.)

Dampfkessel. Ausser den Kesseln der erwähnten Locomobilen liefern 11 sogen. Lancashire-Kessel von Daniel Adamson & Co. den erforderlichen Dampf. Jeder derselben ist 8,534 *m* lang, besitzt einen Durchmesser von 2,286 *m* und birgt zwei Flammrohre von 0,914 *m* Weite, deren jedes von 5 Kegelstutzen durchsetzt wird. Die Kessel wurden aus Stahlblech für 4,9 Atmosph. Ueberdruck gebaut; alle Nietlöcher bohrte man, nachdem die Platten zurecht gebogen waren, und die Vernietung erfolgte mit der Maschine. Von jedem benutzten Blech machte man, wie es bei Adamson & Co. üblich ist, vor dem Gebrauch eine Zerreissprobe.

Die **Absteckung** begann[1]) mit der Festlegung und Bezeichnung der Tunnelaxe über Tage. Es folgte die Uebertragung nach unten mittelst Senkel, welche man mit Hülfe einer Schraubenbewegung genau einrichten konnte. Zu den Senkelschnüren wählte man seiner Festigkeit und Unverrostbarkeit wegen feinen Neusilberdraht und die bleiernen, 15 Kilo schweren Gewichte liess man in mit Wasser gefüllten Eimern schwingen. Der Abstand der Lothe eines Schachtes konnte, weil es an freien Raum fehlte, nicht grösser als ungefähr 3,66 *m* gemacht werden. In Birkenhead gab es überdies so viele in den Schacht ragende Gegenstände, dass man sich auf elektrischem Wege überzeugte, ob die Senkel frei hingen. Man verband nämlich eine Batterie einerseits mit einem Galvanometer und mit den Neusilberdrähten, andrerseits mit der Erde. Das Anliegen eines Drahtes einer Senkelschnur würde nun den Strom geschlossen und ein Ausschlagen der Galvanometernadel veranlasst haben. Von den dergestalt bestimmten Grundseiten ausgehend musste man die Lage der mit der Tunnelaxe Winkel von 97° bezw. 133° bildenden Wasserstollenanfänge bestimmen, endlich im eigentlichen Wasserstollen die Axe festlegen. Die beschriebenen Arbeiten nahm man — der Sicherheit wegen — zweimal vor.

Der **Baufortschritt.** Man begann im December 1879 in Birkenhead den Pumpschacht abzuteufen und nach seiner Vollendung im Juli 1880 von ihm aus den Wasserstollen vorzutreiben. Bei einer Stollenlänge von 146,9 *m* (entsprechend dem Profil 707,4) genügte am 3. Februar 1881 die vorhandene Pumpe nicht mehr; nach Einbau der Pumpen von 0,762 *m* Durchmesser konnte man am 18. Juni 1881 die Arbeit wieder aufnehmen. Am 20. August 1881 setzte Herr Waddel, dem man als Unternehmer inzwischen den Bau übertragen hatte, den Vortrieb bei einer bis dahin durchörterten Länge von 205,4 *m* (entsprechend Prof. 765,9) fort. Das Fortschrittsbild enthält nun bei der Länge von 212,7 (entsprechend Prof. 773,2) die Bemerkung: Stillstand am 10. November 1881 behufs Ausmauerung des Stollens. Im September 1882 wurde wieder weitergegangen. Anfang October (Prof. 898,8) verkleinerte man den Querschnitt auf 2,134 *m*. Endlich hielt man am 1. März 1883 bei einer Länge von 393,2 *m* (Prof. 953,7) wieder ein, um die Kammer für die Beaumontmaschine

1) Nach Fox, genannten Ortes.

auszusprengen. Diese ergab fortwährend wachsende Leistungen, welche zuletzt mehr als 30 *m* in der Woche d. i. in 6 Arbeitstagen betrugen, und ermöglichte es, dass der Durchschlag am 17. Januar 1884 erfolgte.

Der Haupttunnel wurde in Birkenhead, nachdem der Förderschacht fertig war, am 19. November 1881 begonnen. Am 6. Februar 1882 war er flusswärts 30,5 *m* (bis Prof. 612), landwärts 18,3 *m* weit (bis Prof. 563,2) gediehen. Am 1. März 1883 lag ein Firststollenende bereits bei Prof. 881,1, entsprechend einer Länge von 299,6 *m*, von der sich 75 *m* unter dem Flussbett selbst befinden, und hatte man den Tunnel bis Prof. 845,2 entsprechend einer Länge von 263,7 gemauert, während das andere Firststollenende Prof. 361,2 (entsprechend 220,4 *m* Länge) erreicht hatte.

Der Pumpschacht in Liverpool wurde mit dem in Birkenhead gleichzeitig (December 1879) in Angriff genommen; der Stollenvortrieb stockte bei Prof. 2061,8 und ging von da erst am 27. Juli 1882 wieder weiter. Die Querschnittsverminderung bei Prof. 1973,4 erfolgte am 1. Januar 1883 und am 1. März erreichte man Prof. 1908,2, welche Stelle 259,4 *m* von dem Punkte entfernt ist, wo der Stollen seine Richtung ändert, also eine durchörterte Länge von 268,7 *m*, von der Mitte des Pumpschacht an gerechnet, bedeutet. Am 17. März nöthigte die oben erwähnte Beschädigung einer Pumpe zu einem längeren Stillstande und nach erfolgter Wiederherstellung rückte der Stollen mit einer mittleren Geschwindigkeit von 11 *m* in der Woche d. i. in 6 Tagen vor.

Der Förderschacht in Liverpool (Prof. 2179,8) wurde am 24. November 1882 begonnen, und am 6. Februar 1882 war man landeinwärts mit dem Firststollenende 24,4 *m* (Prof. 2204,2), flusswärts 24,1 *m* (Prof. 2155,7) weit. Am 1. März 1883 befand sich das eine Ort unter dem Flusse bei Prof. 1903,7 (entsprechend 276,1 *m*) und das Mauerungsende bei Prof. 1933,9 (entspr. 245,9 *m*). Landseitig kam man zu dem Anfang der Haltestelle (Prof. 2231,0 oder 51,2 *m* vom Schacht) in den ersten Tagen des Monates Mai 1882, machte einen Aufbruch und trieb den Sohlstollen rascher durch, welcher das Ende der Haltestelle (Prof. 2352,9 oder 173,1 *m* vom Schacht) Anfang December erreichte. Hier machte man einen zweiten Aufbruch und stellte die Station von den beiden Enden aus her.

Auf dem Längenprofil sind die im März 1883 gemauert gewesenen Theile durch schwarze Ausfüllung der Schnitte bezeichnet. Der Zeitpunkt der Vollendung sämmtlicher Arbeiten lässt sich noch nicht angeben.

Die Gesellschaft, deren Präsident das Parlamentsmitglied Herr H. C. Raikes ist, hat die Oberleitung den Ingenieuren Brunlees und Fox übertragen, welche an Ort und Stelle bei diesem höchst schwierigen Bau durch Herrn A. H. Irvine bestens vertreten sind; Unternehmer sind die Herren Waddell und Major Isaac, Unternehmungs-Ingenieur ist Herr James Prentice; endlich liegen die maschinellen Einrichtungen in den tüchtigen Händen des Herrn Georg Ginty. Zu bestem Dank bin ich verpflichtet für die Erlaubniss zur Besichtigung Herrn Charles Douglas Fox M. I. C. E., für die freundliche Mittheilung zahlreicher Daten Herrn Irvine und Herrn Ginty.

Die Zuversicht in das Gelingen des Unternehmens sprach sich zunächst darin aus, dass zwei weitere Entwürfe unterirdischer Arbeiten in Liverpool entstanden: einer betrifft die Herstellung eines Zwillingstunnels unter dem Mersey, der andere die einer Untergrundbahn. Jede Röhre[1]) des Zwillingstunnels soll einen Fussweg,

1) The Engineer vom 10. Jan. 1879, S. 31.

eine eingeleisige Trambahn und daneben einen für zwei Wagenreihen genügend breiten Fahrdamm erhalten. Die Kosten dieses Baues werden bei einer Länge von etwa 2150 *m* auf mindestens 7300000 Mark[1]) geschätzt. Die Untergrundbahn[2]), deren Nebenbuhlerin eine von andrer Seite vorgeschlagene Hochbahn ist, soll längs der Docks, also das Liverpooler Merseyufer entlang, auf eine Strecke von 8 *km* angelegt werden. Sie soll der Londoner Untergrundbahn ähnlich, also zweigeleisig sein. Sie würde grösstentheils in den rothen Sandstein kommen, aber auch Thon, Erd- und Kiesschichten durchschneiden; sie müsste den Eingang zum Stanley-Dock unterfahren u. s. f. Der glückliche Durchschlag des Wasserstollens, und die guten Aussichten, welche die Verwendung der Beaumont-English oder einer ähnlichen Maschine bietet, haben in England überhaupt den Unternehmungsgeist in erhöhtem Maasse dem Bau unter Wasser zugewendet, und es ist den Herstellern des Mersey-Tunnels mit zu verdanken, wenn ältere Entwürfe wie die Verbindung der Insel Wight mit dem Festlande, oder neuere, wie die Unterstechung des Firth of Forth, heute alle Aussicht auf Verwirklichung geniessen.

Der Severn-Tunnel.

Allgemeines. Zwischen Südengland und Wales liegt die langgestreckte, trichterförmige, Bristol-Canal genannte Bucht, welche nach Osten zu allmälig in die zwischen steilen Felswänden ausgewaschene Mündung des Flusses Severn übergeht. Tritt die Fluth in den Trichter, so schwellen die bewegten Wassermassen zu bedeutenden Höhen empor und bedecken den Raum zwischen den Steilufern mit einer braunen, undurchsichtigen Hülle, aus der während der Ebbe schlammbedeckte, flache Felsbänke wieder emportauchen, zwischen denen im schmaleren Rinnsal der Strom dem Meere mit reissender Geschwindigkeit entgegeneilt. In dieser Landschaft ragt etwa 20 *km* oberhalb des heutigen Tunnels eine auf hohen Pfeilern ruhende Bahnbrücke empor, die bei einer Gesammtlänge von 1269 *m*, 2 Eisenconstructionen von 99,7 *m*, 5 von 51,2 *m*, 13 von 41 *m*, 1 von 40,8 *m* und eine doppelarmige Drehbrücke von 60 *m* besitzt und die ihre Entstehung dem Bedürfnisse der Städte Bristol und Bath und ihres Hinterlandes nach einer guten Verbindung mit dem nördlich der Severn gelegenen Gebiete verdankt. Als die Brücke im October des Jahres 1879 dem Betriebe übergeben wurde, war man bereits seit einigen Jahren daran, den Tunnel herzustellen, welcher den kürzesten Weg zwischen Bristol und dem volkreichen und bergbaulich entwickelten Südwales bilden wird, und welchem man als westlichste Durchkreuzung des Stromes überhaupt grössere Bedeutung zumisst.

Es erwirkte 1857 die „Bristol- und South-Wales-Union-Company" einen Parlamentsbeschluss, welcher die Herstellung einer Dampffähre etwa 1 *km* oberhalb des heutigen Tunnels gestattete. J. K. Brunel, als Ingenieur der Gesellschaft, hatte die Absicht, die Fähre schliesslich auch zur Beförderung von Kohlen und Massengütern

1) Iron vom 1. Juli 1881, S. 17.

2) Proposal for an underground railway along the Liverpool line of docks, also suggestions for removing Sluckington Bank and improvement of the river approaches by J. Horne, Waterloo. Liverpool, printed by Turner & Dunnet, 4, James Street. 1883.

benutzbar zu machen; zunächst beschränkte man sich aber auf die Uebersetzung von Reisenden und Gepäck und dieser Verkehr wurde im September 1863 eröffnet. Richardson, welcher den Bau der Anlandebrücken an Ort und Stelle durchführte, kam zur Ueberzeugung, dass zur Bewältigung der zu erwartenden, bedeutenden Gütermengen eine Fähre unzureichend sein müsse und da ihm nunmehr zwischen Ueberbrückung und Unterfahrung die Wahl blieb, schien es ihm, als ob letztere die geringeren Kosten verursachen würde. Das Flussbett zeigt (siehe Längenprofil Fig. 31 Taf. IX) über dem Tunnel eine bei Niedrigwasser gewöhnlicher Springfluthen etwa 16 *m* tiefe Rinne, die sogenannte *Shoots*, zu beiden Seiten flache während der Ebbe grösstentheils trocken werdende Felsbänke, auf der Südseite *English Stones*, auf der Nordseite *Lady Bench* genannt, und nur dort, wo sich heute die Fähre befindet, werden diese Untiefen von einem Fahrwasser unterbrochen; tritt, wie häufig der Fall, dichterer Nebel ein, so ist auch hier eine Ueberfuhr nicht mehr zu wagen. Die Fluthgrösse wechselt sehr mit der Höhe der Tidewelle an der Meeresküste und mit der Windrichtung und beträgt bei gewöhnlichen Springfluthen 11,3 *m*, wächst aber bei hohen Springfluthen und Weststürmen bis zu 15 *m* an. Unter Berücksichtigung der geschilderten Verhältnisse würde nach Richardson[1]) eine Brücke hohe und bei der Stromgeschwindigkeit zum Theil schwer zu gründende Pfeiler und über den Shoots eine Spannweite von etwa 220 bis 240 *m* erfordern; thatsächlich zöge man es heute vielleicht vor, eine Oeffnung von etwa 300 *m* anzuordnen[2]) und da fast sämmtliche Pfeiler an Stellen kämen, welche bei Niedrigwasser freiliegen, so könnte der Durchschnittspreis des laufenden Meters Brücke kein allzuhoher werden. Eine möglichst rohe Schätzung der Kosten würde z. B. für die gegenwärtig vom Tunnelbauunternehmer herzustellenden 12,27 *km* bei einer Ueberbrückung ergeben:

Brücke	300 *m*	zu 16000 Mark	=	4800000	Mark
„	3400 „	„ 4200 „	=	14280000	„
Gewöhnliche Bahn	8570 „	„ 250 „	=	2140000	„
		Summe		21220000	Mark.

Der ausgeführte Tunnel wird, wenn fertig, bedeutend mehr gekostet haben, indem zunächst die Great-Western-Bahn einen Stollen fast ganz durchtrieb, dann die Erbauung der genannten 12,27 *km* Herrn J. A. Walker für 948959 Pfd. Sterling (ca. 19 Millionen Mark) übergeben wurde, zahlreiche Arbeiten vorkommen, welche in dieser Summe nicht einbegriffen waren und die in Folge der langen Bauzeit hohen Bauzinsen zu berücksichtigen sind. Allerdings könnte man heute, wenn man noch einmal beginnen würde, einen grossen Theil vergeblicher Auslagen sparen. Eine genaue Angabe der Preise war übrigens leider nicht zu erhalten. Es wude Richardson durch eine Reihe von Erwägungen und Beobachtungen dazu geführt, die Schwierigkeiten des Tunnelbaues etwas geringer zu schätzen, als sie sich später herausstellten. Es werde vorausgeschickt, dass das Land zu beiden Seiten des Flusses mit Alluvium

---

1) The Severn Tunnel, Vortrag gehalten von Charles Richardson in der Wanderversammlung zu Bristol der British-Association, nach Engineering v. 10. Sept. 1875, S. 196—198.

2) Die East-River-Brücke in New-York hat eine Mittelöffnung von 492,88 *m*, zwei Seitenöffnungen von 286,70 *m* Spannweite; die in Bau befindliche Forth-Brücke erhält zwei Spannweiten von 519 *m*.

überdeckt ist (sieh Situation Fig. 32 Taf. XII und das Längenprofil Fig. 31 Taf. IX, in welchem die Schichten 17 mal steiler erscheinen, als sie in Wirklichkeit sind); unter dem Alluvium liegen in regelmässigem Schichtenverlauf, wie die ausgewaschenen Ufer und das Flussbett zeigen, harte Sandsteine, Conglomerate und Mergel. Das Bestehen der ebenen Felsbänke spreche nun für die Härte des Gesteins und die Wasserundurchlässigkeit des Mergels, welcher sonst längst hätte erweicht und weggewaschen werden müssen; unmittelbar nach dem Zurückweichen des Wassers vorgenommene Nachschürfungen zeigten auch den Mergel nur oberflächlich nass. Etwelche Spalten müssten sich ferner nach Richardson längst mit Sand und Schlamm gedichtet haben, wie denn Löcher, welche von den Fischern in die English Stones behufs Eintreiben von Pflöcken zur Befestigung ihrer Netze eingeschlagen werden, sich, falls sie unverpflockt einigen Fluthen ausgesetzt bleiben, mit Sand und Kies derart festfüllen, dass die Fischer lieber neue Löcher graben, als dass sie die alten ausräumen. Aehnliche Ausfüllungen liessen sich auch bei einigen Gründungsarbeiten für die Anlandebrücke der Fähre in Portskewet d. i. am rechten Ufer beobachten.

Vorarbeiten. Der Verwaltungsrath der *„Bristol- und South-Wales-Union-Company“* schloss sich den Ansichten Richardsons an, aber die in den Jahren 1864 und 1870 bei dem Parlamente unternommenen Schritte blieben in Folge Geldmangels erfolglos, und erst 1872 erwirkte die *Great-Western-Gesellschaft* die Bewilligung zum Bau des Severn-Tunnels. Da die Unterfahrung der Shoots der gefährlichste Theil der Arbeit schien, so sollte die Abteufung eines Schachtes und der Vortrieb eines Stollens der endgültigen Entschliessung zum Baue vorangehen.

Behufs Festlegung der Stollenlage wurden die Shoots aufgenommen, wobei man auf 274 *m* Länge alle 9,1 *m* ein Querprofil ablothete. In einem von 4 Leuten geruderten Boot drehte ein Ingenieur eine Trommel, um welche ein Messingdraht geschlungen war, an dem ein 6 *kg* schweres Bleiloth hing; die abgewickelte Länge konnte sofort an dem Apparate abgelesen werden. Ein zweiter Ingenieur gab Acht, dass das Boot stets genau in der Verlängerung der durch zwei Pfähle bezeichneten Geraden blieb und nahm gleichzeitig mit einem Sextanten den Winkel auf, den die Visur nach einem dritten seitlich eingetriebenen Pfahl mit der Richtung des Querprofils bildete. Ein dritter schrieb die ausgerufenen Zahlen auf und bemerkte nach Stunde und Minute die Zeit der Ablesung. Endlich beobachtete ein am Ufer befindlicher Ingenieur die Aenderungen des Wasserstandes.

Baugeschichte. Auf Grund der Aufnahme wollte man nun unmittelbar an dem Nordrande der Shoots einen Schacht absenken, musste aber von diesem Vorsatze in Folge des lebhaften Widerstandes der an der Schifffahrt Betheiligten abgehen und begann März 1873 vom hohen Ufer aus (s. Längenschnitt Fig. 31 Taf. IX) den *Sudbrook*-Schacht, welcher folgende Schichten durchdringt.

1,2 *m* Ackerde und Alluvium.
1,8 „ Sand.
4,0 „ gelber Sandstein.
20,1 „ fester rother Mergel, (weicher, neuer, rother Sandstein, rothes Todtliegendes).

Uebertrag 27,1 *m*

Uebertrag 27,1 *m*
1,2 „ hartes Conglomerat.
5,8 „ *Pennant* (harter grauer Sandstein).
8,2 „ roth. Schieferthon *(clay-shale)* mit einem 5 *cm* starken Kohlenflötz.
2,4 „ Brandschiefer *(coal-shale)*, Kohlenschiefer.
3,4 „ *Millstone grit* (flötzleerer Sandstein der Kohlenformation).
1,8 „ *Firestone and shale* (Thonschiefer mit Feuersteinlagen).
4,3 „ Kohlenkalkblöcke in Schieferthon gelagert.
7,0 „ Eisenstein mit thonigen Zwischenlagen.

Zusammen 61,2 *m*

Bis einschliesslich zum rothen Schieferthon zeigten sich die Schichten ziemlich wagrecht und fielen nur wenig nach Südosten ein; die tiefer liegenden Schichten verflachten sich nach Südosten unter einem Gefälle von etwa 1:8. Ungefähr 11 *m* unter der Oberfläche traf man im rothen Mergel eine starke Quelle, welche etwa 5,4 *cbm* stündlich lieferte, so dass am 29. April die Handpumpe nicht mehr genügte und man genöthigt war, eine Tangye-Pumpe zu beschaffen, mit der man vom 10. Juni bis zum 27. August zur Tiefe von 18,5 *m* vordrang, an welchem Tage man eine wasserführende Schicht wieder im Mergel anschlug, aus der stündlich 123 *cbm* eindrangen. Es wurde eine Pumpe von 0,381 *m* Durchmesser und 2,134 *m* Hub, später eine zweite ähnliche aufgestellt, und vom 20. November 1873 an ging die Abteufung ziemlich regelmässig aber langsam von Statten. Am 30. August 1874 fehlten noch 1,5 *m* bis zur späteren Schachtsohle; Anfang December 1874 war der Schacht fertig und wurde der Stollen begonnen.

Hier mag nun ein Auszug aus dem Fortschrittsprofil des seitens der Great-Western-Bahn unter der unmittelbaren Leitung der Herren Charles Richardson und John J. Geach vorgetriebenen Hauptstollens (vgl. das Längenprofil Fig. 31 Taf. IX) folgen, welcher anstossend an den Schacht mit geringer Neigung auf etwa 91,7 *m* als Wasserstollen, von da ab mit der Steigung 1:100 und 2,13 *m* hohem und eben so breitem Querschnitt als Sohlstollen des künftigen Tunnels dienen sollte:

Entfernung vom Schacht	Datum	Bemerkung
	1874	
0	Anf. Dec.	
	1875	
—	21. Jan.	Mac Kean's Bohrmaschinen in Betrieb gesetzt.
188,4	24. April	Die Stollenfirste tritt in die Kohlenflötze.
272,5	12. Juni	Die Firste tritt in den Penannt.
305,4	10. Juni	Wasserzufluss im Stollen 34 bis 36,3 *cbm* stündlich. Es wird eine Dammthüre eingebaut, welche man bei plötzlichen Wassereinbrüchen schliessen kann, um ein rasches Ersäufen der Anlage zu verhindern.
341,4	31. Juli	Gesammtzufluss 120 *cbm* stündlich.
371,2	18. Aug.	
445,9	9. Oct.	Gesammtzufluss 134—154 *cbm* stündlich.
461,8	30. Oct.	21.—30. Oct. Stillstand in Folge Bruches an einer Pumpe.
504,7	27. Nov.	5 Tage verloren. Gesammtzufluss bei halber Fluthhöhe 172 *cbm* stündlich.
520,3	11. Dec.	Gesammtzufluss bei Springfluth-Hochwasser 182 *cbm* stündlich.
—	—	Weihnachten $3^1/_2$ Tage verloren.
—	—	1 Tag Stillstand in Folge Unfalles an einer Pumpe.

Entfernung vom Schacht	Datum	Bemerkung
	1876	
555,3	1. Jan.	
579,1	15. Jan.	Zeitverlust in Folge Undichtheit der Kessel: $2^2/_3$ Tage.
608,4	29. Jan.	Zeitverlust in Folge Undichtheit der Kessel: 1 Tag; Zufluss 182—204 *cbm* stündlich; bald darauf Quellen von 5,8 und 36 *cbm* stündlich. Die Pumpkraft wird ungenügend.
	11. Mai	Eine weitere Pumpe von 0,467 *m* Durchmesser, 2,743 *m* Hub wird in regelrechten Betrieb gesetzt.
	13. Mai	Gesammtzufluss 309 *cbm* stündlich.
662,3	3. Juni	Gesammtzufluss 318 *cbm* stündlich.
761,1	29. Juni	Anfang August 5 Tage Stillstand in Folge Steigrohrbruches.
883,0	21. Oct.	
889,2	—	Quelle von 2,3 *cbm* stündlich.
922,9	11. Nov.	Gesammtzufluss 327 *cbm* stündlich.
969,3	9. Dec.	Gesammtzufluss 333 *cbm* stündlich.
	1877	
1030,0	13. Jan.	$1^1/_2$ Schichten verloren. Ursache: Pumpe.
1051,6	27. Jan.	6 Schichten verloren. Ursache: Ventilklappen der Pumpe, und Dampfmangel.
1088,1	24. Febr.	$4^3/_4$ Tage verloren. Ursache: Dampfmangel. Gesammtzufluss 318 bis 363 *cbm* stündlich.
1111,0	11. März	$5^1/_2$ Schichten Aufenthalt, weil Höhe und Richtung gegeben wurde.
1161,3	7. April	Am 8. April Bohrmaschinen System Geach in Betrieb gesetzt.
1219,2	—	Im Penannt treten Schieferthone auf.
1239,9	1. Juni	Gesammtzufluss 454 *cbm* stündlich. Ungefähr um diese Zeit baute man eine dritte Pumpe von 0,381 *m* Durchmesser und 2,134 *m* Hub ein. Pfingsten: Zeitverlust.
1411,2	4. Aug.	4 Tage verloren.
1537,6	6. Oct.	
1645,0	—	Die Firste tritt in Kohle und Schieferthone.
—	—	Weihnachten 4 Tage verloren.
	1878	
1737,3	5. Jan.	
1828,7	3. Febr.	
—	—	1 Tag verloren; Ursache: Leder der Pumpenventile.
1981,0	—	15 *cm* starkes Kohlenflötz.
1993,4	—	Verwerfung. Anfang des rothen Todtliegenden? 1 Tag verloren, Ursache: Dichtung eines Steigrohres.
2041,0	—	Sandsteinader, welche stündlich 6,8 *cbm* Wasser liefert.
2054,3	4. Mai	Ostern 6 Schichten verloren.
2124,4	1. Juni	
2194,5	6. Juli	Pfingsten 6 Schichten verloren. 2 Schichten verloren; Ursache: Pumpe.
2202,1	16. Juli	Vortrieb eingestellt, um die Pumpen in guten Stand zu setzen.
2239,2	5. Oct.	Kein Aufenthalt seit Wiederaufnahme der Arbeit.
2289,9	2. Nov.	7 Schichten verloren durch Aufstellung einer neuen Seiltrommel.
2339,3	30. Nov.	1 Schichte verloren durch Luftmangel.
—	—	Weihnachten 13 Schichten verloren.
—	—	$2^1/_2$ Schichten verloren durch Bruch eines Pumpenventiles.
	1879	
2449,3	—	Quelle von 2,4 *cbm* stündlich.
2508,4	22. Febr.	9 Schichten mit Absteckung verloren.
2636,5	19. April	Ostern 9 Schichten verloren.
2798,0	—	Quelle von 5,4 *cbm* stündlich.
2887,9	2. Aug.	Pfingsten 8 Schichten verloren. Das Gebirge ist rother Sandstein mit Gypsadern.
3035,8	—	Quelle von 127,0 *cbm* stündlich.
3081,5	6. Oct.	In dem von Sudbrook landseitig geführten Stollen wird eine starke Quelle angeschlagen, durch welche die ganze von Sudbrook aus getriebene Anlage ersäuft.

Der Schacht von dem bis jetzt allein die Rede war, — er heisst heute „alter Förderschacht“ — liegt über der Stollenaxe; nachdem man sich entschlossen hatte,

den Tunnel wirklich zu bauen, teufte man im Frühling und Sommer 1877 etwa 15 *m* von der Axe einen neuen Schacht ab, welcher der Pumpschacht — er soll von nun an „alter Pumpschacht" genannt werden — der fertigen Anlage werden sollte, und um die Herstellung zu beschleunigen, trieb man einen Querschlag vom Wasserstollen, bohrte ein 25 *cm* weites Loch von oben bis zum Querschlag, und sorgte auf diese Weise für die Wasserhaltung im Schachte[1]). Er diente zunächst zur Aufstellung zweier Pumpen von 0,660 *m* Durchmesser und 3,048 *m* Hub. Im Vertrauen auf die vergrösserte Pumpenzahl drang man vom ersten Schacht landseitig vor und man war flussseitig etwa 3081,5 *m* weit gekommen — wie oben erwähnt — und landseitig etwa 330 *m*, als man am 6. October 1879 unter dem Lande an der Grenze zwischen Millstone grit und Kohlenkalk eine starke, stündlich ungefähr 1630 *cbm* liefernde Quelle traf, so dass man den Wasserzudrang nicht mehr bewältigen konnte und das Weiterarbeiten in Sudbrook unmöglich wurde.

Inzwischen hatte man vom linken Ufer des Stroms, vom *Sea-Wall*-Schachte aus ein Gegenort geschaffen, das folgendermassen vorrückte:

Beginn des Stollens	Anfang December 1878
70,1 *m*	18. Januar 1879
115,8 „	21. Februar „
142,0 „	14. März „
192,6 „	18. April „

Nun musste der Pumpen wegen — der stündliche Zufluss bezifferte sich auf 127,2 *cbm* — die Arbeit während einer Woche unterbrochen werden. Dann folgen

220,1 *m*	9. Mai
282,6 „	1. August
345,6 „	21. „
436,6 „	2. October
511,1 „	18. „

Am 18. October stockte der Vortrieb, da die Wasserhaltung im Stollen, dessen Gefälle gegen das Ort gerichtet war, nicht mehr durchgeführt werden konnte; es wären nur mehr 109 *m* bis zum Ende des Sudbrooker Stollens gewesen.

Gleichzeitig war man vom Sea-Wall-Schacht landseitig vorgegangen mit nachstehenden Leistungen:

Länge in *m*	Datum	Wasserzufluss
0	Anfang Dec. 1878	—
57,9	18. Januar 1879	Wenig Wasser.
109,7	21. Februar	Stündlicher Zufluss aus beiden Stollen und dem Schacht 68 *cbm*.
128,0	14. März	—
196,0	18. April	—
235,3	9. Mai	—
271,6	23. Mai	Der Zufluss wächst. Gesammtzufluss 164 *cbm*.
285,0	14. Juli	—

1) Nach John J. Geach: On the mechanical appliances used in the construction of the heading under the Severn, S. 215—216 in den Proceedings der Institution of Mechanical Engineers Bristol meeting, Juli 1877, published by the Institution, 10. Victoria chambers, Victoria Str., Westminster.

Damit trat der Stollen zunächst mit der Firste in wasserreichen Kies; bald darauf am 26. Juli 1879 bei einer Länge von 309,4 *m* erfolgte ein Tagebruch und der Vortrieb hörte auf.

Weitere Schächte: *Marsh*-Schacht und *Hill*-Schacht, sowie die kurzen, unter der unmittelbaren Leitung der Great-Western-Bahn ausgeführten anschliessenden Strecken sind aus dem Längenprofil zu entnehmen. Auch der *Green-Lane*-Schacht wurde von der Great-Western begonnen.

Zu bemerken ist, dass die Great-Western-Bahn keinen Stollen mauern liess; stellenweise standen sie auf Holz.

Nach den erzählten Unfällen schien es dem Verwaltungsrath der Great-Western-Bahn den Actionären gegenüber angezeigt, in so ferne einen Wechsel eintreten zu lassen[1]), als sie von Sir John Hawkshaw, welcher übrigens die ganzen Jahre hindurch bereits technischer Beirath der Gesellschaft gewesen war, sich aber vielleicht mit dem Bau des Severntunnels nicht weiter befasst hatte, Vorschläge verlangte. Dass man über 3000 *m* vorwärts gegangen war, ohne das Vollprofil auszubrechen und möglichst wasserdicht zu verkleiden, war allerdings ein Fehler gewesen: er wurde aber dadurch nicht besser, dass Sir John Hawkshaw die Tunnelsohle unter den Shoots etwa 4,5 *m* tiefer legte, also den fertigen Wasserstollen ganz überflüssig machte und die weit gediehenen Sohlstollen in Mittelstollen verwandelte, welche für den ferneren Ausbruch nur wenig Werth haben konnten. Die Folge war eine Verlängerung der Bauzeit, also der Zeit, während welcher man das reichlich zuströmende Wasser auspumpen musste. Gleichzeitig übertrug man den Bau an Herrn Thomas A. Walker und, wie der heutige Stand der Arbeiten lehrt, wird es Herrn Walker gelingen, der ungewöhnlich bedeutenden Schwierigkeiten Herr zu werden. Der jetzt in Ausführung begriffene Tunnel besitzt in Folge der Aenderungen eine mittlere Horizontale, eine Steigung gegen das linke Ufer von 1 : 100, gegen das rechte von 1 : 90.

Walker begann in Sudbrook damit, noch eine mächtige Pumpe von 0,889 *m* Durchmesser und 2,743 *m* Hub in den vorhandenen Pumpschacht einzubauen, wodurch[2]) die Leistungsfähigkeit der Wasserhaltungsmaschinen auf 2090 *cbm* in der Stunde gebracht wurde. Der Zufluss hatte bis Anfang October 1879 ungefähr 670 *cbm* betragen, und da am 6. October die neue Quelle mit vielleicht 1630 *cbm* hinzugekommen war, konnte man die Summe von 2300 *cbm* nicht bewältigen, und es gelang nur, den Wasserstand im Schacht von 50 *m* auf 9 *m* zu vermindern. Es musste ferner eine der älteren Pumpen ausgebessert werden. Walker liess daher nach vergeblichen Versuchen, eine Stollenseite mittels Taucher durch einen Schild abzusperren, die Thüre des Pumpschachtes, welche Richardson vorsorglich angebracht hatte, vgl. Fig. 33 a Taf. IX, durch Taucher schliessen. Nun konnte man den Schacht ausschöpfen und seine Pumpen wieder in guten Stand setzen. In der Wiedergabe des Stollenfortschrittes fand sich (s. oben) die Bemerkung, dass 305,4 *m* vom alten Förderschacht Sudbrook eine Dammthüre eingebaut worden war; sie zu schliessen wäre nun von grösstem Vortheil gewesen. Die ersten Taucher, die es versuchten, und denen von oben Luft zugeleitet wurde, konnten nichts ausrichten: endlich (Nov. 1880) hatte der Taucher

1) Das glaube ich einem Artikel im Engineering vom 20. Januar 1882, S. 47—49 entnehmen zu müssen.

2) Nach Engineering vom 20. Januar 1882.

Lambert, versehen mit einer Fleuss'schen Vorrichtung[1]), die Kühnheit, den alten Förderschacht hinabzusteigen, über 300 *m* im ungemauerten Stollen unter dem Drucke einer 15,2 *m* hohen Wassersäule weiterzuschreiten, über die Rollwagen zu klettern und endlich den Schluss der Thüre zu bewerkstelligen. Nun liess sich der Stollen auspumpen. Uebrigens ist die Quelle, die so viel Schaden angerichtet hatte, abgedämmt worden und die Dammmauer dürfte bis gegen Ende des Baues erhalten bleiben. Die Abdämmung geschah in der Weise, dass man das Wasser in einer 60—90 *cm* über dem Boden liegenden Holzrinne ableitete, zunächst das untere Stück der Dammmauer herstellte, welches mit einer Thüre versehen wurde, dann die Rinne abbrach, die Mauer vollendete und endlich die Thüre schloss. Der Ziegelklotz ist 2,74 *m* hoch, 2,44 *m* breit, an der Firste 1,83 *m*, an der Sohle 2,13 *m* stark. Zur weiteren Sicherheit wurde er mit zwei wagrechten Sprengböcken gegen die Stollenstösse abgestrebt. Die von Richardson eingebaute Thüre wurde später durch eine grössere ersetzt, welche in Fig. 34 a—g Taf. X abgebildet ist; auch ordnete man eine andere solche Thüre im alten Stollen (bei *km* 5,685 des Längenprofils) an.

Im Jahre 1881 konnten in Sudbrook eine ganze Reihe Arbeiten durchgeführt werden, wie aus folgenden Daten hervorgeht: der Ausbruch und die Ausmauerung des ersten Tunnelringes — unter dem alten Förderschacht — wird am 19. Februar 1881 fertig; man fängt an den Wasserstollen zu erweitern und am 11. Februar ihn mit einer Mauerschale von 2,743 *m* lichtem Durchmesser zu versehen; ein neuer, tiefer als der alte gelegte Wasserstollen von 1,524 *m* lichtem Durchmesser wird im Mai 1881 in Angriff genommen; es wird ein „neuer Förderschacht" im Fels ausgebrochen und gezimmert, dann in der Zeit von Anfang Mai bis 18. Juni 1881 von unten nach oben ausgemauert; man beginnt im Juni 1881 einen „neuen Pumpschacht" abzuteufen, treibt auch vom neuen Förderschacht einen kleinen Querschlag, geht ferner vom neuen Wasserstollen aus, arbeitet gleichzeitig abwärts und aufwärts und vollendet den Schacht am 31. December 1881.

Anfang October 1883 traf man unerwarteter Weise die erwähnte „starke Quelle" abermals[2]) und zwar lag die neue Einlaufstelle in dem von Sudbrook landseitig getriebenen Sohlstollen ungefähr 80 *m* näher am Schacht als die alte und etwa 6 *m* tiefer. Zunächst strömten 136 *cbm* in der Minute ein und das Wasser stieg im Sudbrookschacht trotz Pumpens 5,5 *m* über den Scheitel des Tunnelgewölbes empor. Dann sank aber der Spiegel wieder langsam herab — etwa 30 *cm* täglich — bis die Taucher den Schluss einer im genannten Sohlstollen angebrachten Dammthüre bewerkstelligen konnten. Nun legte man den Tunnel rasch trocken und führte im Sohlstollen eine starke Mauer auf, in welcher man mit Schiebern verschliessbare Röhren einbaute, so dass man gegenwärtig das sich anstauende Wasser nach Belieben ablassen kann. Gleichzeitig bestellte man weitere, kräftige Pumpen, um allen Vorkommnissen gewachsen zu sein.

---

1) Hierbei trägt der Taucher auf dem Rücken ein Felleisen, in welchem sich verdichteter Sauerstoff befindet, sowie Natron zur Aufnahme der ausgeathmeten Kohlensäure. Die Vorrichtung ist genau beschrieben in den Transactions of the North of England Institute of Mining and Mechanical Engineers, Newcastle-upon-Tyne, Vol. XXXI, 1881—1882, S. 197—203 unter dem Titel „The Fleuss apparatus for breathing in noxious gases".

2) Nach freundlicher, brieflicher Mittheilung.

Auf der anderen Flussseite in Seawall musste der vorhandene Schacht — heute „Förderschacht" genannt zum Unterschiede von einem später gebauten „Pumpschacht" — der Tieferlegung des Tunnels wegen verlängert werden; dieser Arbeit folgte die Herstellung des ersten Tunnelringes unter dem Schachte, womit man am 24. August 1880 fertig wurde. Dann trieb man unter dem vorhandenen gegen den Fluss fallenden Stollen einen neuen Stollen mit schwacher Steigung, welcher das alte Ort fasste und das Wasser ableitete.

Am 27. September 1881 erfolgte endlich der Durchschlag: der Stollen ist zwischen den Schächten, von denen aus er begonnen wurde, d. i. zwischen dem Förderschacht Seawall und dem alten Förderschacht Sudbrook, 3701,4 *m* lang, und es wurden 3081,5 *m* vom rechten, 619,9 *m* vom linken Ufer aus durchörtert. Das Längenprofil gibt den März 1883 erreichten Stand der Arbeiten in dem Tunnel und den Wasserstollen an. Dem Durchschlag folgte in der Nachbarschaft des Seawallschachtes der Vollausbruch und die Mauerung des Tunnels mit Hülfe von Niederbrüchen; in der Nähe von Sudbrook bis unter den Shoots ermöglichte der alte Wasserstollen theils die Vollendung des ganzen Profils, theils die des Gewölbes, welches später unterfangen werden muss. Der neue Wasserstollen, welcher von Schächten aus in Angriff genommen wurde, die man in Entfernungen von 40 *m* vom alten Wasserstollen niedertrieb, war März 1883 beinahe fertig. Man ist daran, einen durchgehenden Sohlstollen im Tunnel herzustellen, mit Hülfe von Schächten, die vom alten Hauptstollen ausgehen. Im Sohlstollen liegt ein Wasserrohr, das vor Ort in die Höhe zum Hauptstollen geführt wird, so dass ein Theil des Sohlstollens sich von selbst entleert; die tiefer als die obere Rohrmündung liegende Strecke des Sohlstollens wird mit Hülfe von Pumpen entwässert, welche durch verdichtete Luft getrieben werden.

Nach dem ähnlichen Vorgange in Sudbrook und Seawall wurden auch in den übrigen Strecken die ersten Ringe unter den Schächten gemauert. Sie wurden fertig in Five-Miles-Four, wo Walker einen Förderschacht und einen Pumpschacht abteufte, am 6. Februar 1881, in Marsh am 24. März 1882, in Hill am 14. Mai 1882; in Greenlane war der erste Ring im April 1883 in Bau. Von Interesse ist es, dass man von Five-Miles-Four aus mit dem Ausbruch und der Mauerung ganz nahe an die starke Quelle gerückt ist, indem man sich dem gegenüberliegenden Stollenende bis auf 20 *m* genähert hat, und dass trotzdem die Stollenbrust vollkommen trocken ist.

Mitte October 1883 ereignete sich am Marshschacht ein Unfall[1]), welcher einzig in der Geschichte des Tunnelbaues dastehen dürfte. Bei hoher Springfluth und heftigem Sturm rollte nämlich eine Woge das Severnbett hinauf, überschwemmte die umliegenden Gefilde, löschte die Kesselfeuer und unterbrach das Pumpen während 4 bis 5 Stunden. Die Leute unter Tage waren abgesperrt und das Wasser stieg langsam im Tunnel. Man konnte von Glück sagen, dass nur ein Menschenleben verloren ging — ein Arbeiter, welcher herauswollte, stürzte von der Fahrt — während sich die übrigen Leute mit Hülfe eines Bootes retteten, welches man durch den Schacht hinunterliess.

Mauerung, Zimmerung. Die Länge des Tunnels zwischen den Portalen beträgt 7262,0 *m*; er erhält eine lichte Höhe von 7,468 *m*, eine Lichtweite von 7,925 *m* und

1) Nach brieflicher Mittheilung.

wird 0,457 *m*, 0,571 *m* oder 0,686 *m* stark in einzelnen $^1/_2$ Stein starken Rollschichten aus blauen, durch starkes Brennen verglasten Ziegeln ausgeführt, welche theils aus dem bei dem Ausbruch gewonnenen rothen Schieferthon der Steinkohlenformation von Walker selbst hergestellt, theils aus Staffordshire bezogen werden. Der zur Mauerung verwendete Mörtel besteht aus 2 Raumtheilen Portland-Cement und 1 Raumtheil Sand. Am linken Flussufer mengt man den Sand aus feinem Severnsand und grobem Sand aus Biderford in Devonshire, welcher über Wasser zugeführt wird; am rechten Ufer benützt man ein geeignetes Material, das man in der Nähe der Schächte Five-Miles-Four und Hill ausgräbt. Die übliche Abdeckung an sehr nassen Stellen bildet Dachfilz. Wo starke Quellen sind, mauert man unter dem Schutze von Wellblechen, die man später wieder entfernt. Auch werden ähnlich wie im Liverpooler Wasserstollen, wo zu viel Wasser zuströmt, Eisenröhrchen von 2,5 bis 10 *cm* Durchmesser eingemauert, welche man nach Erhärtung des Mörtels mit Holzpflöcken zupfropft. Schlechte Fugen werden manchmal durch Eintreiben getheerter Streifen kalfatert. Man führt den Tunnel streckenweis in Ringen von 3,7 bis 7,3 *m* — gewöhnlich 5,7 *m* — Länge aus und lässt das Ende eines Ringes behufs wasserdichten Eingriffs des nächsten mit Verzahnung stehen. Wo das Gebirge schlechter ist, führt man mit Vorliebe das Gewölbe zuerst aus und unterfängt es später, indem man in je etwa 2,29 *m* Entfernung ungefähr 2,29 *m* lange Streifen für das Widerlager ausbricht, wobei das Gewölbe über diese Strecken frei trägt, dann 2,29 *m* lange Pfeiler mauert, endlich den Ausbruch und die Mauerung der Widerlager vollendet, wobei das Gewölbe abermals frei tragen muss. Dieses Unterfangen wird mit solcher Genauigkeit durchgeführt, dass es nicht möglich ist, an der fertigen Mauerung die Herstellungsweise zu erkennen. Gezimmert wird nach der englischen Methode mit Kronbalken aus Lärchenholz von — je nach dem Druck — 0,38 *m* bis 0,61 *m* Durchmesser, mit 1 oder 2 Brustschwellen und bis zu 4 Bruststreben. Je nach dem Gebirge legt man die Kronbalken in- oder ausserhalb des Gewölbraumes oder beschränkt sich darauf, nur die obersten Kronbalken ausserhalb zu legen. Die innerhalb liegenden werden natürlich, wenn die Mauerung bis an sie herangerückt ist, vorgezogen oder einfach weggenommen, die ausserhalb liegenden werden meistens eingemauert. Bei starkem Druck kommen sie in Entfernungen von etwa 0,76 *m*, und man ordnet in den aneinander stossenden Tunnelringen abwechselnd einen Scheitelbalken und zwei Scheitelbalken an, so dass jeder Kronbalken des neuen Tunnelringes zwischen zwei eingemauerten des alten Tunnelringes Platz für sein Auflager findet. Stellenweise fand eine Unterstützung der Kronbalken ausser an den beiden Enden noch in der Mitte durch einen Bock (*horse-head*) statt. Unterhalb der Kämpferhöhe war fast nie eine Zimmerung erforderlich. Zu den Pfählen verwendet man Tannenholz. Als Lehrbögen

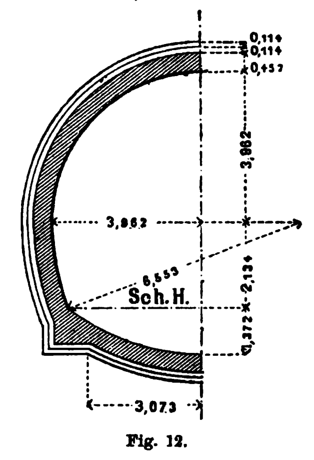


Fig. 12.

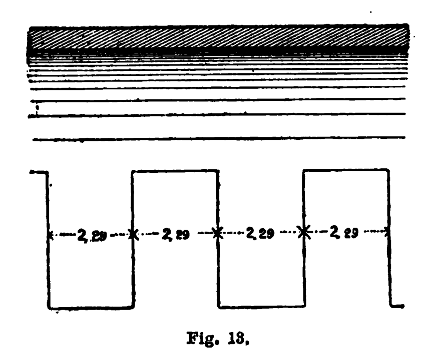


Fig. 13.

dienen Bohlenbögen; wo man die Widerlager zuerst mauert, stellt man die unterkeilten Bögen jederseits auf einen gemeinschaftlichen Unterzug (sog. *half-timber* d. h. 1′ breit, 6″ dick), welcher von lothrechten in das Widerlagermauerwerk eingelassenen Säulen getragen wird. Die Ausbruchs- und Mauerflächen des Tunnels sind:

Gewölbe und Widerlager	Sohlgewölbe	Querschnittsfläche	
		Ausschachtung	Mauerwerk
Zahl der Rollschichten	Zahl der Rollschichten	*qm*	*qm*
5	4	63,1	14,8
6	4	65,4	17,1
6	5	66,5	18,1
6	6	67,5	19,2

Auf jede Tunnelseite kommen in Entfernungen von 20,12 *m* von Mitte zu Mitte Nischen von 1,829 *m* Höhe, 0,914 *m* Breite, welche man jedoch etwas verrückt, wenn sie nahe an ein Ringende fallen würden; die beiden Nischenreihen sind gegen einander verschränkt angeordnet. In die Tunnelmitte kommt beigezeichnete Dohle. Die Portale sollen ziemlich einfach gehalten werden; der Tunnelausgang ist in Fig. 35 a—f Taf. XI abgebildet.

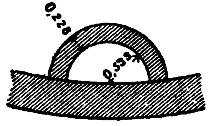


Fig. 14.

Wie aus der Beschreibung der Zimmerung hervorgeht, war das Gebirge im Allgemeinen ein sehr günstiges, dagegen fanden zwei Wassereinbrüche statt. Der erste erfolgte am 29. April 1881 bei *km* 4,043 unter dem *Salmon-Pool*; es war dieses ein kleiner Pfuhl auf den English Stones, der sich bei der Ebbe nicht entwässerte und dessen Wasserstand dann etwas höher blieb, als der im Flusse. Dort bildete sich eine Art Röhre, die von der Oberfläche bis zur Stollenfirste herabreichte. Man schnitt zunächst in den English Stones zwei Rinnen ein, welche das Niederwasser des Pfuhls bis zu dem des Flusses herabsenkten; die Wasserhöhe betrug dann bei Niederwasser nur mehr 60 *cm*. Hierauf umschüttete man den Teich mit einem kleinen Damm aus mit Letten gefüllten Säcken; die Pumpen wurden in Gang gesetzt und das Wasser lief aus; man verstopfte die Oeffnung zu unterst mit Stroh, dann brachte man abwechselnde Lagen von Letten in Säcken und Lettenschlag auf, endlich überdeckte man die Sohle des Salmon-Pool mit einer 0,9 bis 1,2 *m* hohen Schichte Lettensäcke und Tunnelhaufwerk. Die zweite Einströmung geschah bei *km* 4,385 und gab sich dadurch zu erkennen, dass die eingemauerten und noch nicht verpflockten Eisenröhrchen plötzlich zwei- bis dreimal so viel Wasser lieferten als vorher; man fand auf den English Stones die Durchbruchröhre an einem bei Niederwasser trockenen Orte und verstopfte sie von oben ähnlich wie bei *km* 4,043.

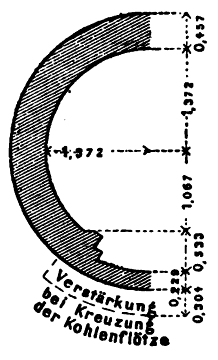


Fig. 15.

Es wurde im Monat März 1883 geleistet:

	Aussprengung *cbm*	Mauerwerk *cbm*
von Sudbrook aus	2732	852
„ Five-Miles-Four aus	895	230
„ Marsh „	1456	304
„ Hill „	2188	383
zusammen	7271	1769.

Diese Maasse beziehen sich

nur auf den eigentlichen Tunnel, schliessen also die Wasserstollen aus; es kommen ferner die Arbeiten in Seawall und Greenlane am linken Ufer hinzu. Der ganze Tunnel soll im Frühling 1886 fertig werden.

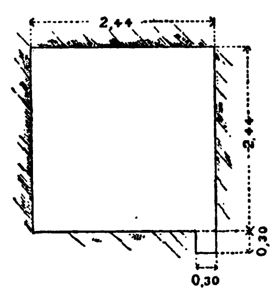


Fig. 16.

Der alte Wasserstollen wurde von den Sudbrook-Schächten bis jenseits der Dammthüre mit blauen Ziegeln (Klinkern) 2,972 *m* im Lichten hoch und 2,743 *m* im Lichten weit derart ausgewölbt, wie es der Holzschnitt Fig. 15 auf der vorhergehenden Seite darstellt, während das an den Tunnel anstossende Stück ungemauert bleibt. Letzteres besitzt eine seitliche Wasserrösche und hat im Uebrigen (sieh beistehenden Holzschnitt) einen quadratischen Querschnitt von 2,44 *m* Seitenlänge. Dieser ganze Wasserstollen soll nach Vollendung des Baues wieder ausgefüllt werden.

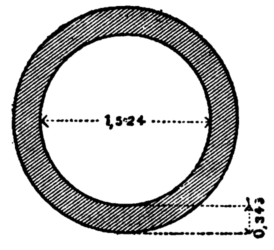


Fig. 17.

Der tiefer liegende, neue und definitive Wasserstollen stellt eine von 3, je einen halben Stein starken Blauziegelrollschichten gebildete Röhre (vergl. Holzschnitt Fig. 17) von 1,524 *m* lichtem Durchmesser dar.

Schächte. Die gegenwärtig sämmtlich in Betrieb stehenden Schächte sind in folgender Tabelle verzeichnet:

Bezeichnung	Lage	LichterDurchmesser in *m*	Verkleidung	Bemerkung
Greenlane, Schacht	Ueber der Tunnelaxe	3,048	Ziegel, 0,457 *m* stark	
Seawall, Förderschacht	„ „ „	5,486	„ „ „	
„ Pumpschacht	13,7 *m* links	4,572	„ „ „	
Sudbrook, alter Fördersch.	Ueber der Tunnelaxe	4,572	„ „ „	
„ neuer „	„ „ „	5,486	„ „ „	
„ alter Pumpsch.	15,9 *m* links	5,486	Eisentubbings	
„ neuer „	11,8 *m* rechts	die oberen 3,66 *m* 5,486, darunter 3,658	Ziegel, 0,457 *m* stark	DerPumpenaufstellung wegen ist der Schacht oben auf 5,486 *m* Durchmesser erweitert.
Fivemilesfour, Fördersch.	Ueber der Tunnelaxe	4,572	„ „ „	
„ Pumpsch.	13,7 *m* links	4,572	„ „ „	
Marsh, Schacht	Ueber der Tunnelaxe	4,572	„ „ „	
Hill „	„ „ „	4,572	„ „ „	

Gewöhnlich baute Walker die Schächte in der Weise, dass von oben nach unten ausgegraben, alle 1,5 bis 1,8 *m* ein Bohlenkranz eingelegt, dieser zunächst unterbolzt und dann mit blauen Ziegeln in Mörtel aus 1 Theil Portlandcement auf 2 Theile Sand untermauert wurde. Die Vertheilung der Schächte in Sudbrook ist in Fig. 33 (a—f) Taf. IX dargestellt. Die in Greenlane geförderten Berge werden in Ermanglung eines geeigneten Grundstückes vorläufig über dem künftigen Einschnitt abgelagert; in Seawall und Sudbrook stürzt man sie in den Fluss und vergrössert dadurch gleichzeitig den Sudbrooker Arbeitsplatz; in Five-Miles-Four, Marsh und Hill

schafft man sie auf hierzu angekauftes Land. Einen Theil der in Fives-Miles-Four geförderten Berge gewinnt man später wieder zur Verarbeitung in der Ziegelei.

Wasserhaltung. Zur Wasserhaltung dienten im April 1883 folgende Maschinen:

Schacht	Maschine			Von der Maschine betriebene Pumpen						
	Anordnung	Cylinder-durchm. m	Hub m	Kolben Gattung	Kolben Durchm. m	Kolben Hub m	Produkt P aus Kolbenfläche u. Hub cbm	Zahl der Hube pro Minute: Grösste	Zahl der Hube pro Minute: Gewöhnl. n	Produkt P n cbm
Greenlane	1 cylindrig, liegend; treibt mittelst Zahnradübersetzung u. Kunstkreuz	0,381	0,610	*Sch* *Sch*	0,381 0,381	2,134 2,134	0,243 0,243	12 12	6 6	1,46 1,46
Seawall Pumpsch.	1 cylindrig, liegend; treibt mittelst Zahnradübersetzung u. Kunstkreuz	0,381	0,610	*Sch* *Sch*	0,381 0,381	2,134 2,134	0,243 0,243	12 12	6 6	1,46 1,46
ebenda	1 cylindrig, liegend, umsteuerbar; treibt mittelst Zahnradübersetzung und Kunstkreuz	0,381	0,610	*T* *T*	0,394 0,394	2,134 2,134	0,260 0,260	12 12	6 6	1,56 1,56
Sudbrook alt. Pumpschacht	1 cylindrig, stehend, direct wirkend	1,270	3,048	*T*	0,660	3,048	1,043	10	6	6,26
ebenda	1 cylindrig, stehend, direct wirkend	1,270	3,048	*T*	0,660	3,048	1,043	10	6	6,26
ebenda	1 cylindrige, stehende Balanciermaschine mit Condensation u. Katarakt-Steuerung	1,905	3,048	*Sch*	0,889	2,743	1,702	10	6	10,21
Sudbrook neuer Pumpsch.	1 cylindrige, stehende Balanciermaschine mit Condensation u. Katarakt-Steuerung	1,778	3,048	*Sch* *T* *T*	0,711 0,457 0,457	3,048 3,048 3,048	1,210 0,500 0,500	10 10 10	6 6 6	7,26 3,00 3,00
Five-milesfour Pumpsch.	1 cylindrige, stehende Balanciermaschine mit Condensation u. Katarakt-Steuerung	1,041	3,048	*Sch* *T*	0,711 0,127	2,743 2,743	1,089 0,035	12 12	8 8	8,71 0,28
ebenda	Umsteuerbare Zwillingsmaschine; treibt mittelst Zahnradübersetzung u. Kunstkreuz. Das Gestänge d. kleinen Pumpe ist an ein Hauptgestänge gekuppelt	0,635	1,219	*T* *T* *T*	0,457 0,457 0,203	2,438 2,438 2,438	0,400 0,400 0,079	12 12 12	8 8 8	3,20 3,20 0,63
Marsh	1 cylindrig, liegend, umsteuerbar; treibt mittelst Zahnradübersetzung und Kunstkreuz	0,457	0,635	*T* *T*	0,394 0,394	2,134 2,134	0,260 0,260	12 12	10 10	2,60 2,60
ebenda	1 cylindrig, stehend; direct wirkend	0,559	2,134	*T*	0,381	2,134	0,243	12	10	2,43
Hill	1 cylindrig, liegend; treibt mittelst Zahnradübersetzung u. Kunstkreuz	0,508	0,914	*T* *T*	0,394 0,394	2,134 2,134	0,260 0,260	12 12	10 10	1,56 1,56
									Summe	71,72

In dieser Tabelle bedeutet *Sch* einfachwirkende Hubpumpe mit Scheibenkolben und *T* einfachwirkende Druckpumpe mit Taucherkolben. Es stellt *Pn* die theoretische Wassermenge dar, welche die Pumpen bei gewöhnlichem Betriebe in der Minute heben. Nimmt man ihren Wirkungsgrad zu 0,8 an[1]), so ergibt sich die in der Minute hebbare Wassermenge zu 57,38 *cbm*, entsprechend 82600 *cbm* während 24 Stunden. Thatsächlich betrug April 1883 die Tagesleistung 54500 *cbm*, oder 37,9 *cbm* in der Minute, und man liess nur einen Theil der Pumpen arbeiten. Berücksichtigt man die verschiedenen Schachttiefen und vertheilt man die wirkliche Tagesleistung auf die einzelnen Schächte nach dem Verhältnisse der Produkte *Pn*, so findet sich die in der Minute verrichtete Hebearbeit zu 1790 *Meterkilogramm* und hieraus die mittlere Hubhöhe gleich 47,2 *m*. Es wird vielleicht von Interesse sein, diese Leistung mit jener anderer Anlagen zu vergleichen. Von den Städten des deutschen Reiches verbraucht blos Berlin ein weit bedeutenderes Wasserquantum; in Hamburg[2]) bei 317000 Einwohner im Jahre 1874 und 337600 im Jahre 1875 bezifferte sich der durchschnittliche Tagesbedarf auf 54254 *cbm* beziehungsw. 58132 *cbm*, und die Pumphöhe der Tagesversorgung maass hierbei etwa 40 *m* und nur während einiger Stunden des Nachts wurde bis zu 60 *m* gepumpt. Im Gotthard, dessen starke Wasserzuflüsse wiederholt und mit Recht in den bezüglichen Schriften als sehr bedeutende Arbeitserschwernisse hervorgehoben wurden, entfliessen dem Südportale etwa 13,8 *cbm*, dem Nordportale 3,0 *cbm* in der Minute. „Während des Baues bei der Bohrung des Stollens, durch welchen Wassersäcke angeschnitten wurden, war der Wasserzufluss stellenweise viel grösser, am grössten in 1200 *m* Entfernung vom Südportale; er erreichte bei einer Stollenlänge von nur 2090 *m* Ende Juli 1875 sein Maximum mit einer Gesammtmenge von 348 *l* in der Sek." (20,9 *cbm* in der Min.), „welche nach Leerung der Wasserbecken und Säcke rasch abnahm und trotz weiterer Zuflüsse mit zunehmender Stollenlänge diese Höhe nicht wieder erreichte"[3]). In den beiden Pumpschächten in Sudbrook dürften gewöhnlich vielleicht 19 *cbm* in der Minute gehoben werden. Uebrigens bestellte Walker, nachdem im October 1883 die „starke Quelle" sich plötzlich in den Tunnel ergossen hatte, weitere Pumpen für Sudbrook, welche zusammen beinahe so viel heben können, wie die dort bereits vorhanden gewesenen.

Wie erwähnt, wird der Sohlstollen mit Hülfe von Schächten ausgegraben, welche vom alten Hauptstollen abgesenkt werden. Zur Wasserhaltung verwendete man hierbei allerlei Pumpen, die jedoch bald schadhaft wurden, so dass Ingenieur Schenk darauf verfiel, die verdichtete Luft in einfachster Weise arbeiten zu lassen — ähnlich wie der Dampf bei den Dampfhebern z. B. der Fryer'schen Vorrichtung wirkt oder die Luft bei der Höll'schen Luftsäulenmaschine des vorigen Jahrhunderts. Er lässt das Wasser durch 8 mit Klappen versehene Oeffnungen in einen eisernen Kasten (sieh Fig. 36 a—c Taf. X) strömen; es wird das Ventil der Luftzuleitung geöffnet, die Luft tritt ein, drückt die Klappen zu und treibt das Wasser in die Höhe. Dann wird die Luftzuleitung geschlossen, die Luftausströmung geöffnet und der Kasten füllt sich wieder mit Wasser. Zum Heben der Ventile wird entweder ein Wipptrog aufgestellt

---

1) So wurde er mir an Ort und Stelle angegeben. Er dürfte jedoch ein viel besserer sein.

2) E. Grahn, Statistik der städtischen Wasserversorgungen, München 1878, S. 162—164.

3) C. Dolezalek, Der Ausbau des Gotthard-Tunnels, Zeitschr. des Arch.- u. Ingen.-Vereins zu Hannover, 1882, Sp. 176.

oder man lässt die Steuerung durch einen Jungen besorgen. Ein am Fusse des Steigrohres unmittelbar über dem Kasten angebrachtes — in der Figur nicht gezeichnetes — Rückschlagventil verhindert ein Niedersinken des bereits gehobenen Wassers. Die ganze Vorrichtung ist offenbar ausserordentlich einfach und haltbar. — Neuerdings benutzt Walker diese Pumpen auch bei grösserer Steighöhe; so hebt z. B. eine mit Luft von 4,2 *Atmosphären* arbeitende Schenkpumpe das Wasser im Marshschacht 30,5 *m* hoch und sie bewährt sich bei dieser Verwendungsweise vollkommen.

Das Wasser ist, wo der Tunnel unter dem Flusse liegt, brackig und dürfte dem Severnwasser ziemlich ähnlich sein; unter dem Lande wechselt der Geschmack der verschiedenen Zuläufe. Die Stärke der Zuströmungen wechselt mit dem Wasserstand im Flusse. Im alten Wasserstollen an der Dammthüre bei *km* 7,343 wurde der Wasserdruck mit einem Manometer gemessen und er fand sich genau dem Höhenunterschied von 45,5 *m* zwischen dem Flussspiegel — es war gerade Springfluthhochwasser — und dem betreffenden Punkte entsprechend.

Förderung. In den Stollen liegen aus leichten Brückenschienen und eisernen Querschwellen zusammengefügte Geleise von 0,533 *m* Spurweite, auf welchen Grubenwagen mit Gusseisenrädern, hölzernen Langschwellen und genietetem Wagenkasten laufen. Die Ausmaasse sind: Radstand 0,457 *m*, Raddurchmesser 0,305 *m*, Kastenhöhe 0,686 *m*, obere Kastenlänge 1,168 *m*, untere 1,041 *m*, obere Kastenbreite 0,838 *m*, untere 0,673 *m*, Inhalt 0,57 *cbm*. In den Schächten wird mit je 2 Schalen, deren Gewichte sich ausgleichen, gefördert. Im neuen Förderschacht Sudbrook befinden sich zwei eiserne Schalen, Fig. 37 (a—c) Taf. X, welche man namentlich mit Rücksicht auf den Transport der Arbeiter ungewöhnlich gross gebaut hat, so dass 30 Leute gleichzeitig einfahren können und sich der Schichtwechsel gegenwärtig in 10 Minuten — gegen frühere 25 — vollzieht, welche Zeitersparniss in einem Jahre einen Werthbetrag von 60000 Mark darstellen soll. Die Ueberlast in einer Schale, welche die Fördermaschine heben kann, beträgt 6,1 *t* und eine Schale nimmt gleichzeitig 4 der oben beschriebenen Wagen auf. Der Gewichtsausgleichung wegen wurde ein doppelter Boden angeordnet, und der hinuntergehende Korb jedes Mal mit Wasser beschwert, welches man an der Schachtsohle wieder auslaufen liess. Namentlich im Winter, wenn das Wasser fror, zeigte diese Methode viele Unannehmlichkeiten und sie ist heute wieder aufgegeben. Der ebene Blechboden zeigt sich jedoch in so ferne von Vortheil, als er den Stoss bei dem Aufsitzen der Schale auf den wasserbedeckten Hölzern der Schachtsohle sehr mildert. Folgende Fördermaschinen stehen gegenwärtig in Benützung:

Schacht	Maschine	Cylinderdurchm. *m*	Hub *m*	Zahnradübersetzung	Trommeldurchm. *m*
Greenlane	Locomobile zu 20 HP. von Ruston, Proctor & Co., Lincoln	—	—	?	?
Seawall, Förderschacht	Liegende Zwillingsmaschine	0,254	0,356	1 : 7	1,676
Sudbrook, alt. Fördersch.	„ „ „	0,254	0,356	1 : 7	1,676
„ neuer „	„ „ „	0,457	0,914	1 : 5	2,134
Fivemilesfour, „	„ „ „	0,254	0,356	1 : 7	1,676
Marsh	„ „ „	0,254	0,356	1 : 7	1,676
Hill	„ „ „	0,330	0,508	1 : 6½	1,524

Compressoren, Ventilatoren. Es soll eine Aufzählung der an den verschiedenen Schächten aufgestellten Maschinen gegeben werden. Nur der Greenlane-Schacht entbehrt eines in diesem Absatze zu besprechenden Apparates.

Am Seawallschacht befindet sich eine von John J. Geach entworfene, in den Werkstätten der Great-Western-Bahn zu Swindon gebaute Anlage. An die Schwungradwelle einer eincylindrigen, stehenden Maschine von 0,356 *m* Cylinderdurchmesser, 0,559 *m* Hub und 1,524 *m* Schwungraddurchmesser sind zwei verticale Compressoren[1] (0,356 *m* Cylinderdurchmesser, 0,559 *m* Hub) gekuppelt, deren Kurbeln unter 90° verstellt sind. Jeder Compressor besitzt sowohl am oberen, als auch am unteren Cylinderdeckel zwei Einlass- und zwei Auslasstellerventile, ist also doppelwirkend. Wenn ein Ventil ausgebessert werden muss, so kann der betreffende Deckel sammt seinen Ventilen abgeschraubt werden, und der Compressor arbeitet einfachwirkend weiter. Die Luftcylinder sind mit Mänteln zum Zwecke einer Aussenkühlung versehen; man zieht es aber gegenwärtig vor, blos mit Innenkühlung zu arbeiten, nämlich durch die Luftventile etwas Wasser eintreten zu lassen. Die gewöhnliche Pressung beträgt 4,2 *Atmosphären*, die Tourenzahl 65 (pro Minute). Ein alter Walzenkessel, 3,96 *m* lang, 1,37 *m* weit, dient als Receiver. Eine Leitung von 5 *cm* Durchmesser führt in den Tunnel und mündet in einem 3,66 *m* langen, 1,219 *m* weiten, cylindrischen Behälter, der sich ungefähr am Ende des ersten Drittels der Strecke Seawall-Sudbrook, also etwa bei *km* 5,2 befindet. Es setzt ferner eine stehende Maschine (0,190 *m* Cylinderdurchmesser, 0,254 *m* Hub) einen *Bakerblower* in Umdrehung, der z. B. durch die Ankündigungen auf dem „Engineer"-Umschlage bekannt sein dürfte. Man kann sowohl blasen als saugen, und hat die Aenderung der Betriebsweise manchmal ihre Vortheile. Die Tourenzahl beträgt im Mittel 60 bis 80 pro Minute.

In Sudbrook ist zunächst eine Compressorenanlage zu erwähnen, welche genau wie die in Seawall gebaut wurde. Vom Schwungrad aus wird jetzt auch eine dynamoelektrische Brushmaschine mittels Riemens getrieben. Ferner hat Walker zwei Compressoren, Patent Walker brothers, von dieser Firma, Wigan, Lancashire liefern lassen. Eine liegende Zwillingsmaschine mit Schwungrad zwischen den Lagern treibt directwirkend zwei horizontale Compressoren (Hub 0,914 *m*, Durchmesser des Dampfcylinders 0,508 *m*, des Luftcylinders 0,457 *m*). Die Compressoren werden von Aussen gekühlt, sind doppeltwirkend und machen gewöhnlich 30 Touren in der Minute. Als Luftbehälter — die Pressung in demselben beträgt gewöhnlich 4,2 *Atmosphären* — dient ein alter 8,229 *m* langer, 1,524 *m* weiter Walzenkessel, von dem drei Leitungen in den Tunnel führen. Die erste, 51 *mm* weit, schliesst an den bereits erwähnten unterirdischen Behälter an, die zweite, 76 *mm* weit, geht ohne ihn zu berühren in der Richtung gegen Seawall, und die dritte, 51 *mm* weit, in der Richtung gegen Hill. Behufs Lüftung des Tunnels ist der Seilthurm des neuen Förderschachtes, Sudbrook, vollständig mit Brettern verkleidet und mit schräggestellten, also selbstthätig zufallenden Thüren versehen. Nahe am Schachtende zweigt ein gemauerter, söhliger, kreisrunder Stollen von 2,438 *m* Durchmesser ab und führt zu einem Guibal-Ventilator von 5,486 *m* Durchmesser, welcher die Luft aus dem ganzen Tunnel zwischen Sea-

1) Nähere Beschreibung und Abbildung dieses Compressors in den Proceedings der Instituton of Mechanical Engineers, genannten Ortes, S. 213—214.

wall und Sudbrook anzusaugen hat. Es ist jedoch fraglich, ob die Wetterführung in der gewünschten Weise vor sich geht, d. h. ob die ganze Einströmung in Seawall, die ganze Ausströmung im Ventilatorhause stattfindet; es scheint vielmehr der Luftverschluss am neuen Pumpschacht Sudbrook ungenügend zu sein, so dass hier Luft eintritt, von da in den unteren Wasserstollen gelangt, durch die kleinen Schächte (s. o.) in den alten Wasserstollen kommt, um nun zum Ventilator zu strömen. Am wenigsten gut sind die Wetter nämlich gegenwärtig dort, wo der obere Wasserstollen in den Tunnelquerschnitt tritt (*km* 7,1), und da muss man sie sogar schlecht nennen, während im unteren Wasserstollen, wo nach dem Schema gar kein Luftwechsel vorgesehen wäre, die Luft rein ist. Auf der Triebachse des Guibal-Ventilators sitzt ein Schwungrad mit Kurbelzapfen und auf jeder Seite des letzteren ist je eine liegende, eincylindrige Maschine von 0,254 *m* Cylinderdurchmesser und 0,686 *m* Hub angeordnet, so dass man die Pleuelstange mit jener Maschine verbinden kann, welche in gutem Stand ist, während die andere reparirt wird. Die Maschine arbeitete bei meiner Anwesenheit unter einem Kesseldruck von 3,3 *Atmosphären* und machte 43 Touren pro Minute; bei Nebel soll jedoch zur Lüftung eine grössere Tourenzahl, etwa 50 pro Minute, nothwendig sein.

In Fivemilesfour arbeitet ein Luftcompressor mit stehender Maschine, der sich von jenem in Seawall nur dadurch unterscheidet, dass blos e i n Luftcylinder — von 0,356 *m* Durchmesser, 0,559 *m* Hub — vorhanden ist. Eine 51 *mm* weite Leitung führt vom Reservoir in den Tunnel, und spaltet sich an der Schachtsohle in zwei eben so weite bis vor Ort gehende Rohrstränge, von denen man gegenwärtig nur einen Zweig benützt, da in der Richtung gegen Hill nicht gearbeitet wird. Eine andere stehende Maschine von 0,202 *m* Cylinderdurchmesser, 0,254 *m* Hub treibt mit im Mittel 80 Touren pro Minute einen Bakerblower, von dem eine 0,305 *m* weite Leitung abwärts führt, welche sich in zwei ebensolche Stränge von 50 *m* Länge theilt.

In Marsh befinden sich ein Compressor, ein Bakerblower, ein Luftreservoir und Leitungen wie die in Fivemilesfour. Der 0,305 *m* weite Ast in der Richtung gegen Sudbrook ist etwa 140 *m*, der andere 30 *m* lang.

Für Hill gilt dasselbe, nur besitzen beide Aeste der 0,305 *m* weiten Leitung blos 30 *m* Länge.

Zum Schlusse der Aufzählung der zur Wasserhaltung, Förderung, Lüftung und Compression dienenden Maschinen soll erwähnt werden, dass der gesammte, monatliche Kohlenverbrauch, also einschliesslich Ziegelei und Werkstätten, 2630 *Tonnen* (Metermaass) beträgt, und dass die metrische *Tonne* 11 Mark 32 Pfg. kostet.

Gesteinsbohrmaschinen. Im Hauptstollen arbeitete man Anfangs mit Mac-Kean-Bohrmaschinen, ersetzte diese aber, wie oben in der Fortschrittstabelle angegeben, am 7. April 1877 durch andere von J o h n J. G e a c h erfundene und in den Werkstätten der Great-Western-Bahn zu Swindon hergestellte Bohrmaschinen[1]). G e a c h hat seine Construction seitdem weiter vervollkommnet und baut die Bohrmaschinen gegenwärtig, wie[2]) Fig. 38 a—f Taf. XIII andeutet.

---

1) Beschrieben von G e a c h im genannten Vortrage.

2) Diese Abbildungen sind nach Zeichnungen angefertigt, welche Herr G e a c h mir auf mein Ersuchen in freundlichster Weise übersandte.

Die Maschine mit Cylinder, Kolben und Kolbenstange, Steuerung und Setzvorrichtung ist auf einem Gleitlager montirt. Der Cylinder *A* hat keine losen Deckel, da auf der einen Seite Deckel und Cylinder in einem Stück gegossen sind, auf der anderen Seite die Stopfbüchse derart ausgebildet ist, dass ein eigener Deckel entfällt. Kolben und Kolbenstange *B* sind aus Stahl in einem Stück. Der Kolben trägt zwei stählerne Dichtungsringe und das 32 *mm* starke Hinterende der Kolbenstange ist mit schraubenförmigen Nuten von 813 *mm* Ganghöhe versehen, in welche die Innenzähne eines Sperrades *C* greifen, das bei 86 *mm* Durchmesser 51 äussere Zähne besitzt. Zwischen letztere tritt eine Sperrklinke, welche eine Drehung während des Vorstosses verhindert und nur während des Kolbenrückganges gestattet.

Das 56 *mm* starke Vorderende der Kolbenstange ist auf 127 *mm* Länge konisch ausgehöhlt, vorne 38 *mm*, hinten 28 *mm* weit; zur Verstärkung wird — nachdem man vorher die Kolbenstange durch die Stopfbüchse *W* gesteckt hat — ein 19 *mm* starker stählerner Schrumpfring *V* aufgeschoben. Zur Befestigung des Bohrers schiebt man das mit derselben Verjüngung wie der Hohlkegel abgedrehte Bohrerende — und zwar, um es etwas zu reinigen, durch die Hand — in die konische Muffe; man führt beim ersten Schlage den Bohrer noch mit der Hand, dann sitzt er fest. Eine Querbohrung von 38 *mm* auf 10 *mm* gestattet das Eintreiben eines Keiles zur Lösung der Verbindung. Geach hielt die geschilderte Befestigungsweise für neu und er scheint auch thatsächlich den ähnlichen Gedanken früher ausgeführt zu haben als Fröhlich bei seiner bekannten Maschine.

Die Steuerung wird durch zwei auf einer gemeinschaftlichen Schieberstange angebrachte Steuerkolben vermittelt. Diese öffnen bezw. decken die betreffenden Luftöffnungen, welche einen Querschnitt von 25,4 auf 9,5 *mm* besitzen und, da sie 9 *mm* von den Cylinderenden abstehen, Luftpolster von dieser Dicke freilassen. In jedem Schieberkolben *S* ist auf etwa $^3/_4$ seines Umfangs eine Nut ausgearbeitet, welche einen Dichtring aufnimmt, der durch eine Spiralfeder an die Wandung des Schiebercylinders festgedrückt wird. Bis zu dem Theil des Schieberkolbens, der an den Luftöffnungen vorbeischleift, lässt Geach die Nut und den Dichtring nicht reichen, da er befürchtet, dass sich sonst der Dichtring in der Luftöffnung fangen könnte. Der Schiebercylinder besitzt keine Deckel; er ist beidseitig einfach offen gelassen; auch diese Anordnung dürfte neu sein. Die Bewegung des Arbeitskolbens wird durch die Muffe *F* und die Klinke *K* auf den Schieber übertragen.

Das Nachrücken wird von Hand bewirkt mittelst der doppelgängigen Schraube *G* von 16 *mm* Ganghöhe. Die wechselnden Schichten mit weichen Zwischenlagen sollen ein selbstthätiges Nachrücken haben ungünstiger erscheinen lassen.

Die Bohrer sind 0,762 *m* bis 1,980 *m* lang. Sie könnten in *Penannt* 6 *m* ohne neue Schärfung arbeiten; dann würden aber der erfolgten Bohrkopfabnützung wegen die letzten Löcher für die Patronen zu eng; man wechselt die Bohrer daher etwa alle 3 *m*. Man wendet nur Kreuzbohrer an und feilt den Winkel an den Schneiden, so lange der Stahl noch warm ist, auf etwa 75° zurecht.

Das Lager *H*, desgleichen die Vorschubschraube *G*, wird gegenwärtig aus Schmiedeeisen hergestellt, die Stopfbüchse *Y* aus Phosphorbronze, alles Uebrige aus Stahl, während früher der Cylinder *A* mit dem anstossenden Gehäuse aus Phosphorbronze gegossen wurde.

Es sitzen bei der Stollenabbohrung zwei Bohrmaschinen auf einer Bohrsäule *E*, auf welche für jede Maschine ein Klemmstück (Fig. 38 e, f), nämlich eine mit einer Stellschraube versehene, einen Teller *T* tragende Hülse geschoben wird. Auf den Teller kommt der runde Fuss *D* des Gleitlagers *H*; Klemmschrauben bewirken sein Festsitzen. Das Klemmstück ist um die Bohrsäule als Axe drehbar und der Fuss im Teller um eine zu dieser senkrechten Axe. Die Bohrsäule liegt im wagrechten Sinne verschiebbar in einem Gussstück *M* (Fig. 39 a, b) und dieses lässt sich längs einer lothrechten, gehobelten, 152 *mm* breiten, 51 *mm* starken Platte des Bohrgestelles auf und abbewegen und in der gewünschten Lage festschrauben.

Das nach Zeichnungen von Geach in Swindon gebaute Bohrgestelle (Fig. 39 a, b, Taf. XIII) besteht im Wesentlichen aus einem gusseisernen Bocke *N* und einer mit ihm fest verbundenen, ebenfalls gusseisernen Grundplatte *O* und steht während des Bohrens mit den Füssen *P* der Grundplatte unmittelbar auf den Schienen. Soll das Gestelle verschoben werden, so zieht man die Schrauben *Q* an; dann ruht es mittelst dieser Schrauben auf den beiden Räderpaaren *R*. Das Gleisstück *U* muss also immer der Stollenbrust nachrücken; dahinter werden so lange kurze Schienenstücke zwischengeschaltet, bis man ein weiteres Paar Vollschienen verlegen kann.

Das Bohrgestelle trägt bei dem Gebrauche kleine Luft- und Wasserbehälter. Zu den Luftzuleitungen verwendet man 51 *mm* weite, aneinander zu schraubende Schmiedeisenröhren. Die Wasserleitungen erhalten einen Durchmesser von 25 oder 38 *mm*.

Bei meiner Anwesenheit standen 19 Geach-Maschinen in Arbeit und zwar erhielten ihre Luft: 3 von Seawall, 14 von Sudbrook, 2 von Fivemilesfour; versuchsweise wurde von letzterem Schacht aus auch eine Darlington-Maschine betrieben. Die Unternehmnng besitzt im Ganzen 52 Geach- und 2 Darlington-Maschinen.

Der unter der Leitung des Herrn Geach gebohrte Stollen hatte einen 2,13 *m* weiten, quadratischen Querschnitt. Man bohrte gleichzeitig mit 2 Maschinen je 10 Löcher von ungefähr 60 *cm* Tiefe und sprengte dann. Zum Bohren und Sprengen benöthigte man etwa 80 Minuten. Aus der auf Seite 31 gegebenen Tabelle berechnen sich die Fortschritte wie folgt:

Zeitraum	Tage	Arbeitstage	durchörterte Strecke	mittlerer Fortschritt pro Arbeitstag
7. April—1. Juni 1877	56	45	78,6	1,7
2. Juni—4. August 1877	64	51	171,8	3,4
5. August—6. October 1877	63	54	126,4	2,3
7. October 1877—5. Januar 1878	91	74	199,7	2,7
6. Januar—3. Februar 1878	28	24	91,4	3,8
4. Februar—4. Mai 1878	91	74	225,6	3,0
5. Mai—1. Juni 1878	28	24	70,1	2,9
2. Juni—6. Juli 1878	35	27	70,1	2,5
7. Juli—4. October 1878	91	?	44,7	?
5. October—2. November 1878	28	22	50,7	2,3
3. November—30. November 1878	28	23	49,4	2,1
1. December 1878—22. Februar 1879	84	64	169,1	2,6
23. Februar—19. April 1879	56	45	128,1	2,8
20. April—2. August 1879	105	85	251,4	3,0
3. August—6. October 1879	65	55	193,6	3,5
2. Juni 1877—6. Juli 1878	—	328	954,6	2,91
5. October 1878—6. October 1879	—	294	842,3	2,86

Unter Berücksichtigung des Umstandes, dass nur mit 2 Bohrmaschinen gearbeitet wurde, muss man die erzielten Fortschritte hoch nennen.

Ziegelei, Werkstätte. In unmittelbarer Nähe des Fivemilesfourschachtes ist eine Ziegelei eingerichtet mit 2 Ziegelpressen nach Murray's Patent, welche zusammen 160000 bis 170000 Ziegel in der Woche verfertigen. Der Rohstoff wird grösstentheils der Tunnelhalde entnommen, durch eine Locomobile von Ruston, Proctor & Cie. gehoben und in einen über den Walzen befindlichen Trichter gestürzt. An Kraftmaschinen besitzt die Ziegelei ferner zwei eincylindrige Maschinen (0,431 bezw. 0,634 *m* Cyl.-Durchm.; 0,914 bezw. 1,219 *m* Hub). Eigenthümlich ist das Verhalten der einzelnen Bodenarten. Der blaue Brandschiefer der Kohlenformation *(coal-shale)* gibt rothe Ziegel, deren Anwendung man jetzt im Tunnel versucht, der rothe Schieferthon der Kohlenformation *(clay-shale)* blaue bis braune Klinker, welche denen aus Staffordshire gleichen und, wie erwähnt, zur Tunnelwölbung dienen; aus dem blauen Letten *(clay)* einer in der unmittelbaren Nachbarschaft des Schachtes gelegenen Grube stellt man rothe Ziegel für den Bau der Arbeiterhäuser dar.

In Sudbrook ist eine kleine Werkstätte — Schlosserei, Stellmacherei, Schmiede — eingerichtet mit einer liegenden, eincylindrigen Maschine (0,254 *m* Cyl.-Durchm., 0,355 *m* Hub) als Kraftquelle.

Absteckung. Die ursprüngliche Absteckung des alten Wasserstollens erfolgte vom alten Förderschacht Sudbrook aus; hier wurde über Tage ein Passageninstrument in der Schachtmitte aufgestellt, von da nach einem in Seawall aufgepflanzten Pfahl geblickt, das Fernrohr abwärts gerichtet und im Stollen ein von oben auf eine Länge von etwa 4,3 *m* sichtbarer Kupferdraht eingerichtet. Der Kupferdraht, dessen ganze Länge etwa 274 *m* betrug, war an jedem Ende über das Gewinde einer wagrechten Schraube gespannt, so dass man durch Drehung der Schraube sehr geringe horizontale Verschiebungen bewirken konnte. Mit Hülfe dieser Einrichtung brachte man den Draht genau in die Visurebene des Fernrohrs und konnte derart die Stollenaxe auf 91 *m* Länge festlegen. Nachdem der Bau an Herrn Walker übertragen worden war, erfolgte eine neue Absteckung. Hierbei benützte Ingenieur Schenk den zum alten Förderschacht hinzugekommenen, neuen Förderschacht Sudbrook. In jedem Schacht senkelte man zwei Punkte ab, stellte das Instrument in etwa 60 *m* Entfernung im Stollen auf und richtete es ein, bis es genau in der Ebene der 4 Senkel stand. Dann wurde das Fernrohr durchgekippt und ein neuer Punkt gegeben; die Gerade verlängerte Schenk durch Rückwärtsvisiren und Fernrohrdurchschlagen, wobei der trüben Luft wegen eine Visur höchstens 1000 *m*, manchmal aber nur 200 *m* durchdringen konnte; erst, nachdem der Stollen durchschlägig war, wurde die Luft besser. Auf ähnliche Weise ging Schenk von einer im Seawallschachte abgesenkelten Strecke von 4,3 *m* Länge aus. Die beiden Geraden zeigten nach Durchbruch des Stollens eine Abweichung von 25 *cm*; der Höhenfehler war Null; die Höhenlage des alten Hauptstollens, dessen Gefälle Schwankungen zeigt, ist aus dem Längenprofil zu entnehmen. Für seine ersten Arbeiten benützte Schenk ein Passageninstrument mit Objectiv von 63 *mm* Durchmesser, später einen gewöhnlichen Theodolithen mit durchschlagbarem Fernrohr und einem horizontalen Theilkreis von 15 *cm* Durchmesser. Damit bei unterirdischen Absteckungen die Senkel gut sichtbar seien, benützt Schenk einen auf einer Seite mit Leinwand überzogenen Kasten, in den eine

hellleuchtende Paraffinlampe mit zwei Dochten und einem Reflector von 18 *cm* Durchmesser gestellt wird. Die Leinwand bildet den Hintergrund des Senkels; das Kastendach ist des Wasserabflusses wegen schräge gerichtet. Zwischen Sudbrook und Marsh liegt der Tunnel in einem Bogen vom Halbmesser 2414 *m* (Bogenanfang: *km* $7{,}673_0$; Bogenende *km* $8{,}924_2$; Bogenlänge 1251,2 *m*; Tangentenwinkel 29⁰ 41′ 49″). Der Winkelpunkt war oberirdisch gut sichtbar und zugänglich. Man maass Bogenanfang und Bogenende über Tage ein, bestimmte sie unter der Erde und geht mit einem Sehnenpolygon von etwa 200 *m* Seitenlänge weiter, wobei für jede neue Mauerstrecke der Ingenieur das Mittel gibt. Alle Absteckungen werden mit grösster Sorgfalt und Genauigkeit vorgenommen und dürfte folgendes Beispiel bemerkenswerth sein. Der neue Pumpschacht Sudbrook wurde an 3 Stellen angefangen: über Tage, von einem Querschlage des alten Wasserstollens und vom neuen Wasserstollen aus; so arbeitete man an 2 Stellen abwärts, an 2 aufwärts; trotzdem bildet die Schachtmauerung überall eine vollkommen lothrechte ununterbrochene Fläche.

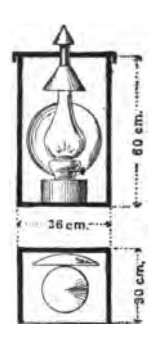


Fig 18.

Beleuchtung. Die Theile des Tunnels, welche ganz fertig sind, ferner des Nachts die Arbeitsplätze an sämmtlichen Schächten werden nach System Brush elektrisch beleuchtet. Die Lampen sollen 1000 Kerzen[1]) Leuchtkraft besitzen und hängen in Entfernungen von ungefähr 200 *m*. Im alten Wasserstollen hängen vom alten Förderschacht Sudbrook, durch den die zugehörige Leitung läuft, bis zu *km* 7,2 in 10 *m* Abstand Swan-Lampen von 14 Kerzen Leuchtkraft. Wo noch gesprengt wird, musste man die elektrische Beleuchtung wieder verlassen, weil die Drähte zu häufig zerrissen wurden. Hier arbeiten die Leute, wo die Luft gut genug ist, mit Naphtalampen, sonst mit Unschlittkerzen; versuchsweise führt man Benzolinlämpchen ein. Der Liter Naphta kostet 20,2 Pfennig (11 *d*. p. Gallone), das Kilogramm Unschlittkerzen 1,01 Mark ($5^1/_2$ *d*. p. Pfund). Man rechnet für 2 Mann 1 Pfund Kerzen, also 45,8 Pfennig täglich.

Sprengmittel. Man verwendet jetzt nur mehr Tonit, welchen die Cotton-Powder-Company in Faversham (Kent) erzeugt. Tonit soll nach den Erfahrungen am Severn-Tunnel bessere Gase geben als Dynamit, soll aber an Sprengwirkung eher hinter Dynamit zurückstehen[2]); ab und zu wurde Spronggelatine von Nobel & Cie. benützt. Bei langsamem Abbrennen liefert Tonit sehr schlechte Gase. Zur Entzündung dienen 85 *mm* lange Zündpatronen (28 *mm* Durchmesser) mit einem 45 *mm* langen, etwa 1 *cm* weiten konischen Loch zur Aufnahme der Zündkapseln, welche stärker sein müssen als die Dynamitkapseln. Tonit muss besser vor Nässe bewahrt werden als Dynamit; doch kann man nasse Patronen wieder trocknen; ferner entfällt im Winter das Erwärmen des gefrornen Sprengmittels. Tonit kostet ohne Rabatt 3,307 Mark (18 *d*. p. Pfund), Dynamit ungefähr dasselbe; welcher der beiden Stoffe in der Anwendung billiger kommt, ist am Severn-Tunnel unbekannt. Man verbrauchte im Frühling 1883 monatlich 2300 Kilogramm Sprengmittel, grösstentheils Tonit.

1) Es ist eine englische Wallrath- oder Spermaceti-Kerze ungefähr gleich 0,134 Carcelbrennern oder 1,023 deutschen Vereins-Kerzen (Paraffinkerzen) oder 0,907 Münchener-Kerzen (Stearinkerzen).

2) Bei dem Mangel eigentlicher Messungen konnte diese Mittheilung nur mit aller Reserve gemacht werden.

Anschlussstrecken. Das Baulos Walker's ist 12266 *m* lang (es reicht von *km* 0 bis 12,266); bis etwa *km* 1,4 ist ein Damm anzuschütten, dann ein Einschnitt im Gefälle 1 : 100 auszuschachten, bis zum Tunneleingang bei *km* 3,319; der Tunnelausgang liegt bei *km* 10,581; es folgt ein Einschnitt im Gefälle 1 : 90 bis ungefähr *km* 11,4; ein Damm, dessen zweiter Nullpunkt mit dem Losende zusammenfällt, bildet den Schluss. Fig. 40, Taf. XII stellt den Voreinschnitt am linken Ufer dar: da das Land durch die bestehenden Dämme gegen hohe Springfluthen ungenügend geschützt ist, muss der ganze Voreinschnitt seitliche Dämme erhalten. Eine Fahrstrasse wird bei *km* 2,736 untertunnelt werden; die Nothwendigkeit, die Strasse beidseitig durch Dämme einzufassen, führt, wie Fig. 41 (a—g) Taf. XI lehrt, zu einer Tunnellänge von 89 *m*; das Nähere zeigt die Figur.

Arbeiterverhältnisse. Die meisten Häuer und die Handlanger arbeiten zweischichtig im Tagelohn; eine Schichte dauert zehn Stunden und wird durch eine Ruhestunde in zwei Hälften von 5 Stunden zerlegt; im Gedinge arbeiten die Häuer im Stollen und die Maurer. Die Mauerarbeit wurde von Walker an zwei Subunternehmer vergeben, denen jedoch Steine und Mörtel geliefert werden. Gewöhnlich verdient in der Stunde der Maurer . . . . 1 Mark,
der Handlanger . . . 50—58 Pfennig,
der Häuer . . . . 54—71 Pfennig.

Die Maurer können aber theils, weil es manchmal an Arbeit fehlt, theils, weil ihre Beschäftigung eine zu mühselige ist, nicht Tag für Tag schaffen; die Häuer arbeiten natürlich regelmässig [1]). Gefeiert wird von Samstags, Abend 10 Uhr, bis Montags 6 Uhr Morgens, falls nicht für einzelne Leute besondere Arbeit vorliegt; ausserdem: 2 Tage zu Weihnachten, von Donnerstag Mittag vor Charfreitag bis Mittwoch Morgen nach Ostern, zu Pfingsten: Montag und Dienstag. Neujahr ist wohl im Norden Englands ein Feiertag, nicht aber im Süden. Im December 1882 wurden 3000 Mann beschäftigt, heute sind es wohl noch mehr. Für sie erbaute Walker 200 geräumige Arbeiterhäuser; diejenigen in der Nähe der Sudbrookschächte bilden ein ganzes Dorf, welches Nachts mit Swanlampen beleuchtet wird.

Schluss. Es sollen zum Schlusse die jetzigen Leiter des grossartigen Baues genannt werden. Ihr sicherstes Lob musste in der Erzählung ihrer Leistung liegen und so setze ich einfach ihre Namen hin:

Oberste Leiter: Sir John Hawkshaw, Charles Richardson.

Unternehmer: Thomas Andrew Walker.

Bevollmächtigter des Unternehmers: F. R. Kenway.

Erster Ingenieur des Unternehmers: A. O. Schenk.

Maschineningenieur des Unternehmers: J. H. Simpson.

Vertreter der Great-Western-Bahn-Gesellschaft an Ort und Stelle: A. G. Luke.

Seitens der Erbauer des Severntunnels ward mir die zuvorkommendste Aufnahme zu Theil und ich gebe mit Vergnügen für die Bereitwilligkeit, mit welcher mir sämmtliche Arbeiten gezeigt, ferner die zahlreichen Auskünfte gegeben und die verschiedenen Zeichnungen zur Einsichtnahme überlassen wurden, meinem aufrichtigen Danke an dieser Stelle Ausdruck.

---

1) Gripper, Railway Tunnelling in heavy ground, London 1879 (Abdruck a. dem Engineer Bd. 46) giebt S. 55 u. 61 den mittleren Verdienst in englischen Tunneln für eine Maurerschichte zu 6 Mark, für eine Handlangerschichte zu 4 Mark und für eine Häuerschichte zu $5^1/_2$ Mark an.

Der Canal-Tunnel.

Geschichte. Die Arbeiten, welche bis vor Kurzem an der englischen und der französischen Küste des Canals *La Manche* im Gange waren, bildeten im intellectuellen Sinne die Fortsetzung der berühmten Untersuchungen des französischen Ingenieurs Thomé de Gamond, deren Schlussfolgerung lautete, dass den Vorzug unter den verschiedenen, möglichen Bauten zur Verbindung Englands mit Frankreich ein Tunnel verdiene und ein solcher sich sehr wohl herstellen lasse. Eine Vorführung der einzelnen Entwürfe Gamonds oder der zahlreichen sonstigen, nennenswerthen Vorschläge müsste bei annähernder Vollständigkeit so ausserordentlich ausgedehnt werden, dass sie unter Hinweis auf die sonstige Litteratur [1]) besser unterbleibt. Unter den Männern, die sich mit der Frage einer englisch-französischen Bahn befassten, war auch Sir John Hawkshaw; auf seine Veranlassung hin, nahm der Geologe Hartsinck Day die Küstenstriche beider Länder auf und untersuchte der Ingenieur H. M. Brunel den Meeresboden mit Hülfe eines Apparates, der Gesteinsproben an

1) Mémoire sur les plans du projet nouveau d'un tunnel sous-marin entre l'Angleterre et la France produits à l'exposition universelle de 1867 et sur les différents systémes projetés pour la jonction des deux territoires depuis l'origine de ces études en 1883, — tunnel immergé — pont sur le detroit — bac flottant — isthme de Douvres — tunnel sous-marin — par M. A. Thomé de Gamond, ingénieur civil, 2. édition etc., Paris, Dunod, éditeur, 1869. — De la Haye, versenkte Eisenröhre, Mechanic's Magazine, Bd. 63, S. 458. — W. Austin, C. E., drei gemauerte zweigeleisige Tunnel mit einem Ventilationsthurm auf der *Varne* genannten Untiefe, Engineer 1868, Bd. 26, S. 477, 1869, Bd. 27, S. 256. — Bateman u. Revy, Description of a proposed Iron Tube u. s. f. (Versenkte gusseiserne Röhre), Vortrag vor der *British Association* in Exeter, Engineer 1869, Bd. 28, S. 140, 144, 161. — Winton, Proposal for tunnelling across the Channel (Tunnel), Mechanic's Magazine, Neue Serie, Bd. 21, S. 161. — Nursey, Vortrag vor der *Society of Engineers* über die Vorschläge von Austin, Fowler (Fähre), Remington (Tunnel von *Dungeness* nach *Grisnez* mit 3 Schächten im Meere), Marsden (versenkte Röhre mit doppelter Blechhülle und Zwischenfüllung), Bateman, Grantham (Riesenschiffe), Boutet (Brücke), Colburn (versenkte Röhre), Parsons (gekuppelte Schiffe), Waring (Schiff oder Fähre), Mechanic's Magazine, Neue Serie, 1869, Bd. 22. S. 294, 312, Engineering, Bd. 8. S. 272, 288, 304, 320, 346, Engineer Bd. 28, S. 287, 312, 333. — Fowler's ferry boat, Engineer, Bd. 29, S. 144. — Page, versenkte eiserne Röhre, Mechanic's Magazine, N. Serie, Bd. 23. S. 280. — Daft, Fähre, Engineer, Bd. 29. S. 144. — Burel, fester Damm, Builder, 1869, S. 1020. — Sainte Anne, über drei Brückenentwürfe, Comptes rendus de l'académie des sciences, 1870, Bd. 70. S. 174. — Dufrené, versenkte eiserne Röhre nach dem System von Martin u. Leguay, Annales du génie civil, 1870, S. 65. — Fölsch, die projektirte Eisenbahnverbindung zwischen England und Frankreich, Zeitschr. d. österr. Ing.- u. Arch.-Ver. 1870, S. 53. — Brockmann, fahrbares, bis auf den Meeresgrund reichendes Gerüst, Mechanic's Magazine, N. Serie, Bd. 26 S. 144, 168, 211, 239. — Raynor, versenkte Eisenröhre, Iron, Bd. 7 S. 357. — Wenmaekers, Tunnel, Scientific American, Neue Serie, 1875, Bd. 32. S. 243. — Wenmaekers, des constructions maritimes, tunnels sous-marins, jetées etc. Bruxelles 1874. — James Chalmers, the Channel-Railway connecting England and France (2 versenkte, ausgemauerte und mit Steinen überschüttete Eisenröhren), 2. Aufl. London, E. & F. N. Spon, 1867. — Lebret and Obach, the channel railroad ferry between England and the Continent, London, 1874. — Projet de construction d'un tunnel sous-marin systéme Martin et Leguay, Paris, E. Lacroix éditeur, 1869. — Savy, Tunnel, Mémoires et compte rendu de la soc. des ing. civils, 1876, S. 463. — Ržiha, Eisenbahn-Unter- und Oberbau, Wien 1876, I. Bd., S. 449—452. — Havestadt,

die Oberfläche förderte. Es stellte sich die Nothwendigkeit heraus, durch Bohrungen nachzusehen, ob die untere Kreide, dort wo sie von jüngeren Schichten bedeckt ist, die nämliche Mächtigkeit besitzt, wie an den Stellen, wo sie zu Tage tritt. Die Herren Hawkshaw, Brassey, Wythes und Easton vereinigten sich, um an der St. Margaretsbai, 6,4 *km* östlich von Dover und in Ferme-Mouron 4 *km* westlich von Calais, also zwischen Calais und Sangatte, bohren zu lassen, und da das Ergebniss der Bohrungen[1] ein günstiges war, bildete sich 1867 ein englisch-französisches Comité[2], dem u. A. auch Thomé de Gamond angehörte, unter dem Vorsitze von Lord Richard Grosvenor, welches 1868 ein von Hawkshaw, Wm. Low[3] und James Brunlees ausgearbeitetes Project der französischen Regierung vorlegte, um von ihr eine financielle Unterstützung des Unternehmens zu erlangen. Eine solche Beihülfe wurde im März 1869 versagt, und in Folge der Ereignisse des Jahres 1870 trat bald darauf bezüglich der ganzen Angelegenheit eine kurze Vertagung ein, welche im Jahre 1872 damit endete, dass in England eine Gesellschaft unter dem Namen *Channel-Tunnel-Company* gebildet wurde. Die Interessenten, denen die französische Nordbahn und das Pariser Haus Rothschild beitraten[4], einigten sich nun dahin, in Frankreich und England getrennt vorzugehen. Es wurde den französischen Mitgliedern, nämlich, dem Herrn Michel Chevalier[5] „handelnd im eigenen Namen und als Präsident einer zu bildenden Gesellschaft handelnd in deren Namen" eine förmliche Concession nach Beschluss der französischen Kammern im Jahre 1875 ertheilt; gleichzeitig bewilligte das englische Parlament der Channel-Tunnel-Company das Expropriationsrecht für den Ankauf von Ländereien behufs Vornahme von Versuchsarbeiten am Ufer der St. Margaretsbai. Die französische Urkunde setzte fest, dass die Concessionäre Vorarbeiten im Betrage von 2 Millionen Franken von der französischen Küste aus innerhalb 5 Jahren — vom Tage der Concessionsertheilung an gerechnet — durchführen und dass sie sich während dieses Zeitraumes, welcher, wenn nöthig, um weitere 3 Jahre verlängert werden darf, mit einer englischen Gesellschaft in der Weise einigen müssen, dass der Bau der englisch-französischen Bahn erfolgen könne. Die Urkunde gab ferner den Concessionären das Recht, vor Ablauf obigen Zeitraumes die Vorarbeiten

---

Die Projecte zur Herstellung einer festen Verbindung zwischen England und Frankreich auf der vorjährigen Pariser Ausstellung, Deutsche Bauzeitung, 1879, S. 307, 319, 329, nämlich Savy's Tunnel, Savy's Brücke, Somzee's versenkte Röhre, Blancoud's Dämme mit zwischenliegendem Canal und Hafenanlagen. — Diese Litteraturangabe ist weit von vollständig; es gibt noch einfache Vorschläge, beziehungsweise mehr oder weniger ausgearbeitete Entwürfe von Mathieu (1801), Franchot und Mottray, Victor Horeau, Payerne, Faure, Wylson, Nicholl, Vacherot, Turner, J. F. Smith, C. Boyd, W. Barlow, P. Barlow, Bishop, A. Thomas, Castanier, Angeluri u. A.

1) Das 172,8 *m* tiefe Bohrloch an der St. Margaretsbay traf den Gault 166 *m* unter der Oberfläche; mit dem Bohrloch in Ferme-Mouron wurde, wie Colladon in den Mém. et compte rendu de la Soc. d. Ing. Civ. 1883 S. 76 angibt, bei 139 *m* Tiefe nach einem Unfall eingehalten; nach Hawkshaw (Corr. S. 207) war es 168 *m* lang.

2) Correspondence with reference to the proposed Construction of a Channel-Tunnel, presented to both Houses of Parliament by Command of Her Majesty 1882, London. S. 10. In der Folge wird diese Actensammlung mit „Corr." bezeichnet werden.

3) Später trennte sich Low und stellte ein eigenes Project auf.

4) Corr. S. 103.

5) Seitdem verstorben.

zu unterbrechen, falls sie gleichzeitig erklären, mit dem wirklichen Baue beginnen zu wollen; innerhalb eines Jahres nach Abgabe der Erklärung habe dann die Inangriffnahme stattzufinden und der Bau müsse im Verlauf von 20 Jahren beendet sein. Die Betriebsberechtigung dauere 99 Jahre vom Tage der Betriebseröffnung ab und während 30 Jahren vom selben Tage an, werde keine andere französisch-englische Bahn bewilligt werden. Ein Bedingnissheft (sog. *cahier de charges*) war beigegeben und dieses enthielt auch Bestimmungen über die nach Ablauf der Betriebsberechtigung vom Staate zu entrichtende Ablösungssumme; übrigens behielt sich die Regierung das Recht vor, bereits nach 30 Jahren die Bahn anzukaufen[1]). Die Concessionäre hatten auf Grund eines Abkommens gehandelt, nach welchem die französische Nordbahn die Hälfte der für die Untersuchung in Aussicht genommenen 2 Millionen, das französische Haus Rothschild ein Viertel und verschiedene weitere Personen das letzte Viertel beitragen sollten.

Ein im Jahre 1876 unternommener Versuch der Channel-Tunnel-Company, welche auf die Unterstützung der London-Chatham-Dover-Bahn und der englischen Südostbahn rechnete, Geld aufzubringen, kam nicht über die ersten Anfänge hinaus, und da in der St. Margaretsbai nichts geschah, begnügte sich das französische Comité, an dessen Spitze Chevalier, A. Lavalley und Raoul Duval standen, weitere Aufnahmen des Ufer und des Meeresgrundes seitens des Marineingenieurs Larousse und der Bergingenieure Delesse, Potier und de Lapparent abzuwarten und noch zwei Bohrungen in Sangatte vorzunehmen, ehe es Ende 1878 zur Abteufung zweier Schächte schritt. Inzwischen hate 1874 das Parlament der Südostbahn sowie der London-Chatham-Dover-Bahn[2]) gestattet, je für 20000 Pfund Sterling Bohrungen, Stollen, Schächte u. dgl. auszuführen, sofern dieselben mit dem Tunnelproject in Verbindung ständen. Die Südostbahn, deren Generaldirector Sir E. Watkin, M. P., Bart., vorher mit der Channel-Tunnel-Company und der London-Chatham-Dover-Bahn im Einverständniss gewesen zu sein scheint, teufte etwa 1880 auf eigenem Grund einen Versuchsschacht am Fusse der Abbotsklippe, also westlich von Dover ab; sie erwarb 1881 durch Parlamentsbeschluss das Expropriationsrecht behufs Durchführung weiterer Untersuchungen und setzte ihre Vorarbeiten von einem zwischen der Bahn und der See am Fusse der Shakespeareklippe liegenden Grundstücke aus fort. Da sie oder eigentlich die von ihr gebildete *Submarine-Continental-Railway-Company* mit dem Hauptstollen schliesslich ziemlich weit unter den auch bei Niederwasser bedeckten Meeresgrund gelangte und dieser als Staatseigenthum erklärt wurde, und man zuletzt sogar gerichtliche Schritte gegen die beiden Gesellschaften einleitete, mussten dieselben sich am 22. Juli 1882[3]) entschliessen, den Vortrieb einzustellen.

Die Ursache, dass es zu keinem Baue kam, liegt bekanntlich auf militärischem Gebiete. Bis Ende 1881 gab sich in dem diplomatischen Schriftwechsel das Bestreben der beiden betheiligten Regierungen kund, das Unternehmen zu fördern; erst als Admiral Sir Cooper Key aus eigener Initiative am 31. Januar 1882 an Lord Northbrook ein Schreiben richtete, welches die Worte enthielt — „was soll diese Armee[4]) hindern nach London zu marschiren, während unsere Flotte in aller Pracht von Kraft und Stärke hülflos zusieht?" — änderte sich mit einem Schlage die Sachlage. Bald

1) Journal officiell vom 30. Januar 1875. 2) Corr. S. 100. 3) Corr. S. 367.

4) 200000 Franzosen durch den Tunnel nach Dover gebracht; Corr. S. 191—192.

darauf wurde einem Dreimännerausschuss bestehend aus je einem Vertreter des Handelsamtes, der Admiralität und der Kriegsabtheilung eine ähnlich gehaltene ausserordentlich wirkungsvoll abgefasste Denkschrift von Sir Garnet Wolseley[1]), des „Siegers von Tell-el-Kebir", vorgelegt, der allerdings auch eine von Sir John Adye gegenübersteht, welcher die Ungefährlichkeit behauptet. Die öffentliche Meinung Englands wurde dem Tunnel immer feindlicher. Der Staatssecretär für Kriegsangelegenheiten berief am 23. Februar 1882 einen aus Technikern und Militärs bestehenden Ausschuss, welcher Mittel angeben sollte, einen unterseeischen Tunnel mit Sicherheit unbenutzbar zu machen. Der Ausschuss gab zahlreiche Methoden an, die Hohlröhre mit festen, flüssigen und gasförmigen Stoffen zu füllen, fügte aber am Schluss hinzu, dass man ein unbedingtes Vertrauen in keine Vorrichtung setzen könne. Nachdem sich noch zahlreiche Personen von Bedeutung gegen den Tunnel ausgesprochen hatten und es gewiss wurde, dass das englische Parlament seine Herstellung nicht gestatten werde, stellte auch die französische Gesellschaft am 18. März 1883 ihre Arbeiten ein[2]). Die aufgewendeten Geldsummen scheinen für die Betheiligten verloren, aber für die Technik im Allgemeinen bleiben die zu beiden Seiten des Pas de Calais erworbenen Kenntnisse und Erfahrungen von hohem Werthe.

Geologische Verhältnisse. Für den Bau des unterseeischen Tunnels sind von grösster Wichtigkeit einerseits die Dicke und Lage der Schichten, sowie das Vorkommen etwaiger Verwerfungen oder Faltungen, andrerseits das Verhalten der einzelnen Bodenarten in Bezug auf Wasserdurchlässigkeit und Quellenreichthum. Bereits im vorigen Jahrhundert wurde auf die Gleichheit der Schichten zu beiden Seiten des Canales hingewiesen und die Vermuthung ausgesprochen, dass der Canal durch Meeresauswaschung entstanden sei. Die zu beiden Seiten des Thales, in welchem die Stadt Dover liegt, steil gegen das Meer abfallenden hohen Klippen stellen einen Schnitt durch die Kreideformation Südenglands dar. Westlich von Dover hat eine Hebung stattgefunden, und so führt ein Spaziergang längs des Küstensaumes von Westen nach Osten z. B. vom Martellotunnel westlich bis St. Margaret östlich von Dover an immer jüngeren Lagen vorbei. In Frankreich ist die Küste von Calais bis zum westlich gelegenen Dorfe Sangatte flach und mit Alluvium überdeckt; jenseits Sangatte wird das Ufer höher und felsig, zeigt aber nicht jene bis zu 150 *m* und mehr ansteigenden, an vielen Orten fast senkrecht abfallenden hellen Wände, deren oberer Rand vom Meere betrachtet die englische Küste mit scharfen, gezackten Umrissen begrenzt[3]). In der Bezeichnung der Schichten

1) Corr. S. 210—218 und umgearbeitet S. 271—298.

2) Vgl. Stanislaus Meunier, Nouvelle Revue vom 1. August 1882.

3) Die Möglichkeit eines ehemaligen Zusammenhanges Englands mit dem Festlande wurde schon früh ins Auge gefasst. Auf die Aehnlichkeit der Bildung der einander gegenüberliegenden Küsten machte, wie es scheint, zuerst Musgrave in den Philosophical Transactions 1717 N. 352 aufmerksam. Aus der reichen Litteratur mögen ferner folgende Schriften herausgegriffen werden: Nicolas Desmarets, l'ancienne jonction de l'Angleterre à la France etc. Amiens 1753, wieder abgedruckt bei Liseux, Paris, 1875. — Hébert, comptes rendus de l'académie des sciences, Bd. LXXXII, 1876, S. 101, 236, 919 u. f. — Potier und de Lapparent, ebenda, Bd. LXXXIV, 1877, S. 1331 u. f. — Hébert, ebenda, Bd. XC, 1880, S. 1318, 1385 u. f. — Topley, Geology of the Straits of Dover, Quart. Journ. of Science, April 1872. — Joseph Prestwich, On the Geological Conditions affecting the Construction of a Tunnel between England and France, Minutes

weichen die französischen Geologen von den englischen ab, wie es nebenstehende Figur erläutert, in der beide Eintheilungen eingetragen sind und aus welcher auch die mittlere Dicke der einzelnen Schichten längs der Tunneltrasse erhellt; doch ist bezüglich des oberen Grünsandes zu erwähnen, dass dieser gegen Frankreich hin auskeilt und an der französischen Küste bis auf eine über die Oberfläche des Gaults gestreute Lage Sandkörner verschwindet, und die in der Figur eingeschriebene Cote seine grösste Mächtigkeit bedeutet. Verwerfungen sind auf der englischen Seite selten und die grösste beobachtete misst 7,6 *m*; auf der französischen sind sie häufiger.

	Englisch:	Französisch:
146 m	Obere Kreide oder Kreide mit Feuersteinen oder obere weisse Kreide	Obere Kreide
44 (untere Kreide)	Untere weisse Kreide oder weisse Kreide ohne Feuersteine	Mittlere Kreide
69 (untere Kreide)	Graue Kreide	Kreide von Rouen
5	Oberer Grünsand	Craie Glauconieuse
61	Gault	Gault

Maassstab: 1 : 5000.

Was die Durchlässigkeit der einzelnen Kreidearten anbelangt, so wird der Vorzug der grauen Kreide gegeben. In dem Berichte der französischen Commission[1]) vom Juli 1874 heisst es: die weisse Kreide ist zerrissen und kann Wasser durchlassen, man muss der grauen folgen. Hiermit stimmte die vor einem englischen Ausschuss im December 1881 abgegebene Aussage von Sir Watkin überein, welcher seinen Tunnel dort beginnen lassen wollte, wo die graue Kreide zu Tage tritt. Die Zusammensetzung der grauen Kreide ist: 70% kohlensaurer Kalk, 16% Kieselsäure, 5% Thonerde, 2,5% Eisenoxyd, 2,5% Magnesia, 4% Wasser; sie lässt sich leicht schneiden, ungefähr wie Speckstein und ist dabei genügend fest, um sich über kleineren Weiten frei tragen zu können. Sir John Hawkshaw, welcher den Tunnelanfang östlich von Dover legt, findet eine beredte Vertretung in einer Brochüre von J. Clarke Hawkshaw[2]), welcher die Vorzüge der grauen Kreide bestreitet. Diese Schrift weist auf die vielen Wasserstrahlen hin, welche den französischen Versuchsstollen besprengen, auf Wasseradern in der aus unterer Kreide bestehenden Klippen zwischen Escalles und St. Pot in Frankreich, auf starke Quellen die bei Escalles 18 *m* oberhalb des oberen Grünsandes hervorbrechen, auf die 10 *m* über dem oberen Grünsand entspringende Quelle

of Proceedings of the Inst. of Civ. Engineers, Bd. XXXVII, 1874, S. 110—145, Besprechung des Vortrags S. 146—170. — Derselbe, The Waterbearing Strata of London, London 1851. — Die Karte auf Taf. XIV ist entnommen aus: Charles Tylden-Wright „The Channel Tunnel", Transactions of the North of England Institute of Mining and Mechanical Engineers, Bd. XXXII, Newcastle-upon-Tyne, 1882; dieser Autor beruft sich auf einen Vortrag von Prof. Boyd Dawkins vor der Manchester Geological Society.

1) Mitglieder waren Kleitz, Droeling, Kolb, Lalanne, du Souich, Fisquet, de la Roche-Poncié, de Lapparent. Corr. S. 24 u. f.

2) The Channel Tunnel by J. Clarke Hawkshaw M. A., F. G. S., M. I. C. E. Report of the British Association 1882.

Lydden-Spout zwischen Folkestone und Dover. Neben dieser Möglichkeit auch in der grauen Kreide stärkeren Zuflüssen zu begegnen, ist nach dem genannten Verfasser zu berücksichtigen, dass die Einströmungen in keiner Gattung Kreide ein bestimmtes Maass überschreiten, indem dieses Gebirge zwar viel Wasser enthält, aber dasselbe nur langsam abgeben kann. Die grösste aus der Kreide an einer Stelle gewonnene Wassermasse hebt das für 22,7 *cbm* Zufluss per Minute eingerichtete Pumpwerk Goldstone Bottom der Stadt Brighton; es wird von einigen zusammen 550 *m* langen Stollen versorgt. Ein anderes Schöpfwerk derselben Stadt — Lewes Road — hat bei 730 *m* unterirdischer Gänge Maschinen für 21,2 *cbm* per Minute. Den besten Aufschluss über die Frage konnte der von Sir John Hawkshaw geleitete Bau des Hauptsieles von Brighton geben. Man sprengte nämlich einen 7 bis 8 *km* langen Stollen von 2,7 bis 3,0 *m* Durchmesser längs des Fusses der dortigen Felsküste unter Hochwasserhöhe aus, ohne je mehr (vgl. S. 68) als 45,4 *cbm*[1]) per Minute zu pumpen. Es wurde an mehreren Stellen gleichzeitig gearbeitet[2]), aber welche Wandfläche auf einmal freilag, ist nicht angegeben. Aus diesen Beispielen und den Erfahrungen am Mersey- und Severn-Tunnel schliesst Clarke Hawkshaw, dass selbst bei unerwarteter Weise starken Zuflüssen der Bau nicht nur in grauer, sondern auch in weisser Kreide durchführbar sei.

Die Trassen. Den Vorträgen von Tylden-Wright und Oberst Beaumont[3]) ist die Trasse 1., vorgeschlagen von Sir Edward Watkin, jenem von J. Clarke Hawkshaw sind die Trassen 2. und 3. des Planes Figur 42 Taf. XII entnommen. Für Trasse 1. wird angeführt, dass sie nur die graue Kreide durchsetze, für Trasse 3., welche ganz in der oberen Kreide ohne Feuerstein liegt, dass die unterseeische Strecke 4,8 *km* kürzer sei, und dass die Mächtigkeit der Kreide hier 146,3 *m* betrage — bei Trasse 1 blos 71,6 *m*, — dass also bei gleich stark gewählten Felsdecken, die Entfernung der Tunnelsohle vom Gault bei 3. um 74,7 *m* grösser ausfalle als bei 1. und die Gefahr, unvermutheter Weise in den Gault zu gerathen, bedeutend abnehme. Die Variante 2. vermittelt zwischen den beiden anderen, indem sie unterseeisch um 2,4 *km* länger ist als Trasse 1. und zu drei Vierteln ihrer Länge in der unteren Kreide verläuft. Die französische Gesellschaft, welche übrigens immer die *Craie de Rouen* als die geeignetste Bodenart erklärt hatte, musste vor Allem jenen Plan bevorzugen, der am meisten Aussicht auf Verwirklichung bot und scheint die Linienführung 1. als die maassgebende betrachtet zu haben.

Bei Trasse 1., deren Länge zwischen den Niederwassergrenzen ziemlich genau 38 *km* misst, war ein Gefälle von der Tunnelmitte gegen die Ufer von 1 : 2000 in Aussicht genommen und eine Ansteigung der Ausfahrtrampen von 1 : 80. Die grösste beobachtete Meerestiefe beträgt 64 *m*. Ob an den tiefsten Punkten des Tunnels von verdichteter Luft getriebene unterirdische Wasserhaltungsmaschinen aufzustellen seien, oder man in Pumpschächte mündende Wasserstollen und Maschinen über Tage anordnen solle, blieb, wenigstens für die englische Tunnelhälfte, eine unentschiedene Frage;

1) Nach E. A. von Hesse, Der unterseeische Tunnel zwischen England und Frankreich, Leipzig, 1875, S. 14 sämmtlich Binnenwässer.

2) Minutes of Proceedings of the Inst. of Civ. Eng. Bd. 37 S. 161 u. Bd. 43 S. 201.

3) Colonel Beaumont, Address „on the Channel Tunnel“, Proceedings of the Cleveland Institution of Engineers, Middlesbrough 1883.

desgleichen war man nicht darüber schlüssig geworden, ob man für die beiden Gleise einen Hohlgang oder zwei getrennte Röhren ausführen wolle; endlich finden sich über die künftige Höhenlage nirgends genauere Angaben.

Untersuchung des Meeresgrundes. Mit Hülfe des Lothes und der Peilstange verschaffte sich schon Thomé de Gamond kleine Proben vom Meeresgrunde[1]). Damit nicht zufrieden versuchte er zunächst vergeblich die Benutzung eines Taucheranzuges und entschloss sich darauf, sich einfach an einer Leine und mit Kiessäcken beschwert niederzulassen. Er kehrte bei drei solchen Versuchen mit Bruchstücken aus dem Seeboden glücklich zur Oberfläche wieder, obgleich er das letzte Mal von einem Fischschwarm angegriffen und mehrfach verwundet worden war und 52 Sekunden im Wasser geweilt hatte.

Hawkshaw und Brunel[2]) bedienten sich 1865 und 1866 des auf Tafel. XI (Fig. 43) gezeichneten Werkzeuges, welches aus einem 40—45 *kg* schweren Bleiklotz, einer Eisenstange mit Oese zum Befestigen der Leine und einem Mundstück bestand. In letzteres schraubte man stählerne etwa 15 *cm* lange, 20 bis 22 *mm* im Lichten weite Stahlröhrchen mit zugeschärftem unterem Ende ein, welche in den Grund eindrangen und beim Hinaufziehen die Probe mitbrachten.

Dasselbe Sondirloth benutzten 1875 und 1876 die französischen Fachleute, um eine Fläche von etwa 300 *qm* aufzunehmen. Der Wasserstand betrug daselbst im Allgemeinen 30—40 *m* und an den tiefsten Stellen nicht über 60 *m*. Der Vorgang war der folgende. An beiden Ufern befanden sich Seezeichen, welche vom Schiffe aus behufs Bestimmung seiner jeweiligen Lage mit einem Spiegel-Sextanten betrachtet wurden. Auf das Zeichen des Beobachters — Larousse — liess man das Loth fallen, welches nach 5 bis 10 Sekunden auf den Grund schlug. Aus der Länge der abgewickelten Leine wurde die Höhencote der untersuchten Stelle entnommen unter Berücksichtigung der bis auf einen 60 *cm* nicht überschreitenden Fehler bekannten Höhe der Fluth. Der Aufzug der Leine erfolgte möglichst rasch — 1876 mittels einer Dampfwinde — und wenn sich eine Gesteinsprobe im Stahlröhrchen befand, ersetzte man dieses sofort durch ein anderes. Im Allgemeinen schwankte der Gesammtzeitaufwand einer Sondirung von $1^1/_2$ bis 4 Minuten, wobei der grösste Theil der Zeit auf das Fahren und Aufhalten des Schiffes entfiel. Erschwernisse bildeten Wind, die dem Canal eigenthümlichen Strömungen, welche manchmal eine Geschwindigkeit von 1,5 bis 2,0 *m* per Sekunde erreichten und die dort häufigen Nebel, in Folge welcher nur von Anfang Juni bis Mitte September länger andauernde Aufnahmen möglich schienen. So konnte man 1875 nur 26 mal in der Zeit vom 10. August bis 26. September ausfahren; doch gelang es 1523 mal zu lothen und 753 Probestücke zu erhalten. Im Jahre 1876 war das Wetter noch ungünstiger und es gab vom 20. Juni bis zum 15. September nur 28 Tage, welche ein Arbeiten in grösserer Entfernung von der Küste gestatteten; man bewerkstelligte 1876 dennoch 6149 Sondirungen, welche 2500 Probestücke lieferten.

Im selben Jahre liess man Taucher von den *Les Quénocs* und *Le Ridden rouge*

---

1) Thomé de Gamond, Mémoire sur les plans etc. wie oben angeführt S. 111 u. f.

2) Die Schilderung der Sondirungen ist einem Aufsatze von Prof. Daniel Colladon entnommen, Mémoire et compte rendu des travaux de la société des ingénieurs civils, 1883, S. 80—82. Vgl. auch die Mittheilungen von Lavalley, ebenda, 1875 S. 765 u. f., 1877 S. 362 u. f.

genannten nahe der französischen Küste unweit Sangatte liegenden Bodenerhebungen aus 15 *m* Tiefe Gesteinsstücke holen.

Die Vorarbeiten bei Sangatte. Im Februar 1876 liess die *Association du chemin de fer sous-marin* 200 *m* westlich vom Bohrloch Hawkshaws (700 *m* östlich vom Kirchthurm von Sangatte) ein neues Bohrloch beginnen, welches bei 23 *m* Tiefe die weisse Kreide, bei 64 *m* die Kreide von Rouen, bei 100 *m* den Gault erreichte. Unter dem Gault fand man 5 *m* schwarzen Thon, drang darauf noch durch 4 *m* wasserhaltigen Sandes und weichen Thones und hörte bei 130 *m* Bohrlochtiefe auf[1]). Eine folgende Bohrung (1879) sollte behufs Wahl der Schachtlage Aufschlüsse über das Alluvium geben[2]). Es war bekannt, dass der Untiefe der *Quénocs* auch eine Schichtenerhebung entsprach; ein kurzer Versuchsstollen sollte Genaueres lehren und zugleich über die Wasserdurchlässigkeit der Schichten und das beste Abbauverfahren Aufschlüsse geben.

Man begann 1878 mit der Abteufung des Schachtes, genannt Schacht Nummer 1, von 2,70 *m* Lichtweite in der cuvelirten Partie. Die Hängebank liegt 30,80 *m* über Null d. i. Springfluthniederwasser; das Springfluthhochwasser hat die Höhencote + 6,97 *m*, das mittlere Hochwasser + 6,30 *m*. Bei 21,78 *m* Tiefe, d. i. bei + 9,02, traf man die Kreide von *Rouen*, welche hier eine Mächtigkeit von 68,42 *m* besitzt und auf einer 2,20 *m* starken Lage *craie glauconicuse* ruht[3]). Die verschiedenen durchschnittenen Kreidelagen zeigten sich nur von — 26,20 bis — 57,20 undurchlässig und spaltenfrei, sonst aber so wasserreich, dass von Hochwasserhöhe abwärts eine Cuvelirung nothwendig war, und die Herstellung des Schachtes einen Kostenbetrag von 200000 Franken (160000 Mark) erforderte. Es wurden sechsmal Keilkränze von zwölfeckigem Umriss gelegt und mit Moos, Keilen aus weichem Holz und Eichenholzkeilen auf bekannte Weise abgedichtet und darüber die Cuvelage-Jöcher eingebaut, denen man zunächst eine Stärke von 0,10 *m* gab, gegen die Schachtsohle zu aber mehr, bis zu 0,18 *m*. Die Unterflächen der einzelnen Keilkränze liegen in einer Tiefe unter der Hängebank von

m 38,30 42,02 45,50 50,90 55,70 63,04

und die von ihnen zurückgehaltenen Zuflüsse (pro Minute) betragen

cbm 0,700 0,789 2,360 1,620 1,440 0,088

zusammen also 6,997. Heute sind in Folge der gelungenen Abdichtung die Durchsickerungen ganz unbedeutend. Im April 1879 war, weil die vorhandene Pumpe nicht ausreichte, ein längerer Stillstand eingetreten; im August 1880 wurde die Cuvelirung und noch in demselben Jahre der auf seine übrige Länge mit Ziegeln verkleidete Schacht fertig.

Da man, wie es scheint, den Versuchsplatz bei Sangatte als den künftigen Tunnelausgangspunkt betrachtete, beschloss man den vollendeten Schacht ausschliesslich als Pumpschacht zu verwenden und noch einen zweiten Schacht mit Fördertrum und

---

1) Colladon S. 82.

2) Chemin de fer sous-marin. Extrait du procès verbal de la séance tenue par le comité général le 29. novembre 1882. Paris, Imprimerie Chaix, Rue Bergère, 20.

3) Viele Daten betreffend Sangatte sind entnommen der Revue générale des chemins de fer, Juli 1882, Bd. V. 2. Sem. Note sur la situation des travaux d'études du chemin de fer sous-marin entre la France et l'Angleterre.

Fahrtrum anzulegen. Dieser erhielt 5,40 *m* Cuvelagelichtweite; seine Hängebank liegt mit der des Schachtes 1 auf gleicher Höhe und, da er die nämlichen Schichten durchdringt, wurde er ebenfalls oben und unten mit Ziegeln verkleidet und in der Mitte cuvelirt. Man benutzte drei nach dem Vierundzwanzigeck gebildete Keilkränze; sie liegen in Tiefen unter der Hängebank von

m 41,01 49,10 59,55

und halten Zuflüsse von nachstehender Ergiebigkeit pro Minute zurück:

cbm 1,057 2,808 1,027

Auch hier gelang die in den Monaten September bis December 1881 vollzogene Abdichtung vortrefflich. Der Umstand, dass trotz grösseren Durchmessers die Wassermenge kleiner war als bei Schacht 1, soll seine Erklärung in der Trockenheit des Sommers 1881 finden.

Zur Wasserhaltung im Schachte 1 diente eine eincylindrige Maschine von 0,92 *m* Kolbendurchmesser und 2,80 *m* Hub, welche directwirkend eine Druckpumpe von 0,50 *m* Kolbendurchmesser und gleichem Hub in Gang setzte. Die pro Hub theoretisch geförderte Wassermasse beträgt demnach 0,55 *cbm.* Die Maschine kann 10 Hübe pro Minute machen. Um an Druckhöhe zu sparen, trieb man 20 *m* unter der Hängebank einen kurzen Stollen gegen das Ufer, in welchen man das Steigrohr münden liess. Die Wasserhaltung im Schachte 2 bewerkstelligte man, indem man vom Schacht 1 bis unter den Schacht 2 einen Querschlag führte und diesen von oben anbohrte. Vorsichtshalber mauerte man im Querschlag eine 2 *m* starke Abdämmung, durch welche man 4 mit Absperrschiebern versehene 0,14 *m* weite Rohre gehen liess. Bei geschlossenen Schiebern stieg das Wasser im Schachte 2 an und drückte zuletzt auf die Abdämmung mit 60 *m* Druckhöhe oder einer Gesammtpressung von mehr als 100 Tonnen.

Auf die Herstellung der Schächte folgte die Ausstattung des Arbeitsplatzes mit nachstehenden Maschinen:

1. Eine eincylindrige, liegende Maschine mit Ventil-Steuerung von Joseph Farcot in St. Ouen von 0,57 *m* Kolbendurchmesser und 1,20 *m* Hub dient als Kraftmaschine der Compressoren.

2. Vier liegende Compressoren[1]) nach Angabe von Prof. Colladon lieferten Sautter, Lemonnier & Cie. Mit Rücksicht darauf, dass die Beaumontmaschine für 2 *Atmosphären* Ueberdruck, die Bruntonmaschine für 8 *Atmosphären* berechnet ist, legte Colladon die Compressoren neben einander, damit man je nach der gewünschten Luftpressung eine grössere oder kleinere Anzahl Compressoren an die Schwungradwelle der Kraftmaschine kuppeln könne. Der Lieferungsvertrag enthielt die Bestimmung[2]), dass jeder Compressorcylinder bei 45 Touren in der Minute 830 *lit* Luft von 8 *Atmosph.* Ueberdruck, beziehungsweise 2500 *lit* von 2 *Atmosph.* Ueberdruck zu liefern habe — welche Zahlen einer eingesogenen Luftmenge von 7500 *lit* entsprechen — und dass man im Stande sein müsse bei Verdichtung auf 2 *Atmosph.* Ueberdruck mit allen 4 Cylindern zu arbeiten, nämlich 10000 *lit* in der

1) Genaue Angaben über die schöne Compressorenanlage brachte eine mit Abbildungen versehene Beschreibung von A. Lestang, Revue industrielle, 1882, S. 194—195.

2) Colladon, Mémoires et compte rendu des travaux de la société des ingénieurs civils, 1883, S. 84.

Minute zu erhalten. Jeder Compressor hat 0,410 *m* Kolbendurchmesser, 0,750 *m* Hub, ist doppeltwirkend und mit Aussenkühlung und Innenkühlung versehen, und das zu letzterer dienende Wasser kann man entweder durch die Luftventile eintreten lassen oder durch eigene Mundstücke. In diesem Falle kommt es aus einem unter dem Drucke der verdichteten Luft stehenden Behälter und bildet feine Strahlen, welche sich bei ihrer Begegnung zerstäuben. Hierbei sinkt die zur Innenkühlung nöthige Wassermenge bei Verdichtung auf 6 bis 7 *Atmosph.* auf $^1/_{2000}$ der eingesaugten Luftmenge herab, während man bei Benutzung der Luftventile viermal so viel Wasser bedarf. Dafür braucht bei Ansaugung das Kühlungswasser nicht so rein zu sein wie bei Einspritzung. Das Wasser der Aussenkühlung fällt, bevor es abfliesst, in eine offene Schale, so dass man den Verbrauch leicht überblicken kann. Von den Compressoren strömt die Luft durch einen von Sautter, Lemonnier & Cie. erfundenen Trockner mit geeigneten Zwischenwänden und Schwimmer in 3 Behälter — Walzenkessel — von zusammen 36 *cbm* Inhalt.

3. In Schacht 1 wurde eine zweite, stärkere Pumpe, ferner in Schacht 2 eine provisorische Pumpe eingehängt.

4. Ein dritter Schacht — oder besser Brunnen — versorgt 2 Gruppen von Pumpen, welche als Speisepumpen und Kaltwasserpumpen dienen und zusammen 1 *cbm* in der Minute liefern können.

5. Zur Dampferzeugung dienen 3 Siederohrkessel mit Gegenstrom von je 65 *qm* Heizfläche, gebaut von Meunier & Cie. in Fives-Lille. Der Schornstein ist vom Boden ab gemessen 31,8 *m* hoch, und sein unterer Durchmesser misst 2,20 *m*, sein oberer 2 *m*.

An Gebäuden stellte man ausser dem Maschinenhause, ein Magazin, eine Werkstätte und ein Wohngebäude von je 160 *qm* Grundfläche her.

Von den beiden Schächten gehen im Wesentlichen folgende Stollen aus:

in der Höhe — 56,7 ein Wasserbehälter 27,4 *m* lg.,
in der Höhe — 55,2 der Versuchsstollen der Beaumontmaschine,
in der Höhe — 42,2 der Versuchsstollen der Bruntonmaschine.

Wo keine der genannten zwei Maschinen Anwendung fand, wurde von Hand gebohrt und mit comprimirtem Pulver gesprengt.

Die Bruntonmaschine[1]) zeigte sich ihrer Aufgabe nicht gewachsen. Das betreffende Exemplar soll zu schwach gebaut gewesen sein. Einen grundsätzlichen Vorwurf macht ihr Oberst Beaumont: Die rasche Bewegung der Schneidescheiben. Von Hesse sagt, dass im Kalkstein (Kreide) bei 711 *mm* Fortschritt in der Stunde die Schneideköpfe, deren jeder 6 Schneidescheiben trägt, welche um ihre Achsen drehbar sind, 40 Umdrehungen in der Minute machen sollen. Eine so rasche Bewegung bewirkt aber eine starke Erhitzung und Abnützung des Werkzeugs.

Im Juli 1882 stellte die zur Ausnützung der Brunton'schen Patente gebildete Gesellschaft ihre Arbeit ein, ohne die Hoffnung aufzugeben, mit einem neuen, ver-

---

1) Bezüglich deren Bau wird auf von Hesse's genannte Schrift verwiesen und auf den Aufsatz von William Johnson: Brunton's heading machine, a paper read before the Chesterfield and Derbyshire Institute of Engineers, General Meeting, October, 1875. Die von Johnson abgebildete Maschine weicht etwas von der v. Hesse's ab. Vgl. auch Comptes rendus de l'académie des sciences, Tome 91, 1880, S. 525, 830 u. f.

änderten Exemplare bessere Ergebnisse zu erzielen. Der hergestellte Stollen hatte einen Durchmesser von 2,134 *m*.

Im selben Monate setzte die Gesellschaft Beaumont & Cie. die von der *Société de construction de Batignolles* gebaute Maschine des Oberst Beaumont im tieferen, bis zu dieser Zeit von Hand ausgearbeiteten Versuchsstollen in Gang. Sie bohrt ähnlich wie die Bruntonmaschine den vollen Stollenquerschnitt aus, und dieser hatte im vorliegenden Falle ebenfalls einen Durchmesser von 2,134 *m*. Leider nicht im Stande, eine eingehendere Zeichnung dieser so bemerkenswerthen Vorrichtung vorzulegen, muss ich mich begnügen, die der französischen Academie von Raoul Duval vorgetragene Beschreibung[1]) wiederzugeben und eine von der Revue générale des chemins de fer[2]) veröffentlichte, nach einer Photographie (vgl. Fig. 44 Tafel XIV) verfertigte Abbildung beizufügen. „Die Maschine besteht im Wesentlichen aus einer Art T, dessen Querbalken eine Reihe zur Bearbeitung des Felsens dienender Messer trägt. Die Querbalkenlänge entspricht dem Durchmesser des herzustellenden Stollens. Die Gestalt und die Befestigung der Messer erinnert sehr an jene der Meissel einer Hobelmaschine oder einer Metalldrehbank. Den Längsstrich des T bildet eine sehr starke, stählerne Welle, welche von einer mit verdichteter Luft getriebenen Zwillingsmaschine[3]) mittels Zahnradübersetzung derart in Drehung gesetzt wird, dass ihre Umdrehungszahl kleiner ist als die Hubzahl der Zwillingsmaschine. Während der Drehung bewirkt eine hydraulische Vorrichtung, je nach der Stellung eines bezüglichen Hahnes, ähnlich wie bei unseren Hausaufzügen ein Vorrücken, ein Zurückgehen oder einen Stillstand. Die Maschine besteht nämlich aus zwei gegenseitig verschiebbaren Theilen. Der untere Theil stellt einen aus starkem Blech genieteten Kesselabschnitt dar, dessen äusserer Krümmungsdurchmesser beinahe so gross wie die Stollenlichtweite ist. Dieser Kesselabschnitt bildet ein Gleitlager, indem er Gleitbahnen trägt, längs welcher sich das schwere Gusslager der gesammten oberen Vorrichtung bewegen kann. Das Gleitlager ist mit dem Kolben, das Gusslager mit dem Cylinder der hydraulischen Presse verbunden. Wird mittelst einer kleinen Pumpe Wasser in den Cylinder gedrückt, so bleibt der Kolben, dessen Bewegung das auf der Stollensohle aufruhende Gleitlager hindert, an Ort und Stelle, und der Cylinder drückt das Gusslager vorwärts und presst die Messer, welche gleichzeitig mit 1 bis 3 Umdrehungen per Minute kreisen, gegen die Stollenbrust. Das Haufwerk fällt auf die Stollensohle, wo es wechselweise von den löffelförmig ausgehöhlten Armen des Querbalkens gefasst wird. Diese Löffel entleeren ihren Inhalt in ein Becherwerk, welches mittelst konischer Zahnräder von der Kurbelwelle der Zwillingsmaschine aus in Bewegung gesetzt wird, durch das Innere des Gleitlagers durchgeht und hinter der Maschine so hoch geführt ist, dass es unmittelbar die Grubenwagen füllt. Wenn der obere Theil um 1,37 *m* vorgerückt ist, unterbricht man die Bohrarbeit für einige Augenblicke, um die ganze Maschine mittelst einer Anzahl Schraubenwinden um 0,02 bis 0,03 *m* in die Höhe zu stemmen. Dadurch wird das Gleitlager von der Stollensohle gehoben und wenn man den Wasserdruck auf die entgegengesetzte Seite des Kolbens wirken lässt wie vordem, bewegen

1) Comptes rendus de l'académie des sciences, Tome 94, 1882, S. 1707—1709.

2) Bd. V. 2. Semester, September 1882.

3) Die Kolbendurchmesser betragen 0,305 *m*; der Hub beträgt 0,457 *m*.

sich Kolben und Gleitlager, während das mit dem Cylinder verbundene Gusslager mittelst der Schraubenwinden fest auf der Stollensohle aufruht. Nun werden die Schraubenwinden zurückgedreht und die Maschine ist zu einem abermaligen Vortrieb bereit. Die zugeführte Luft soll 2 *Atmosph.* Ueberdruck besitzen; die Zwillingsmaschine soll 100 Hübe, der Bohrkopf soll $1^1/_2$ Umdrehungen in der Minute machen. Die hydraulische Vorrichtung ist mit Rücksicht auf die Gesteinshärte auf einen Fortschritt von 0,012 *m* per Umdrehung berechnet; das würde 1,08 *m* in der Stunde geben, aber da das Nachrücken des Gleitlagers Zeit in Anspruch nimmt, darf man höchstens auf 1 *m* pro Stunde hoffen; die englische Maschine obwohl schwächer hat Vortriebe von 15 *m* in 24 Stunden oder etwa 0,60 *m* in der Stunde geleistet." Die Uebertragung der Bohrmethode Brandt's ins Grosse bewährte sich in dem Kreidegebirge des Canaltunnels auf das beste, wie aus folgenden Daten hervorgeht, die sich auf den Luftverbrauch[1]) und den Fortschritt beziehen.

1882/3	Betrieb mit 2 Compressoren				Betrieb mit 3 Compressoren				Betrieb mit 4 Compressoren				Summe				Stollenfortschritt
Monat	Touren-Zahl	Volum der eingesogenen Luft *cbm*	Stundenzahl Std.	Min.	Touren-Zahl	Volum der eingesogenen Luft *cbm*	Stundenzahl Std.	Min.	Touren-Zahl	Volum d. eingesogen. Luft *cbm*	Stundenz. Std.	Min.	Touren-Zahl	Volum der eingesogenen Luft *cbm*	Stundenzahl Std.	Min.	*m*
Juli	61691	23721,423	19	41	13486	7778,455	4	12					75177	31499,878	23	53	9,20
Aug.	65331	25121,076	23	02	5909	3408,193	2	07	551	423,741		13	71791	28953,010	25	22	4,80
Sept.	415946	159939,555	142	54	51575	29747,428	18	36					467521	189686,983	161	30	133,90
Oct.	82573	31750,969	29	34	319792	184449,629	107	00	1446	1112,031		29	403811	217312,629	137	03	137,90
Nov.					649104	374390,205	226	57					649104	374390,205	226	57	277,50
Dec.	66359	25516,362	23	05	636748	367263,511	218	06	9427	7249,740	3	22	712534	400029,613	244	33	249,60
Jan.	129328	49430,430	44	31	753340	434070,193	254	31					882668	483500,623	299	02	298,60
Febr.					854779	493019,431	283	04					854779	493019,431	283	04	361,50
März 1—18. Morgs.					561444	323829,670	181	39					561444	323829,670	181	39	210,53
Summe	821228	315479,815	282	47	3846177	2217956,715	1296	12	11424	8785,512	4	4	4678829	2542222,042	1583	3	1683,53

Zur Erläuterung der Tabelle soll bemerkt werden, dass man nach ihr z. B. im Monate September 1882 bald 2, bald 3 Compressoren an die Kraftmaschine kuppelte, und zwar arbeitete man 142 Stunden 54 Minuten mit 2 Compressoren, während welcher Zeit die Kraftmaschinenwelle 415946 Touren machte und andere 18 Stunden 36 Minuten benützte man 3 Compressoren, deren jeder 51575 Hübe vollzog. Am 9. Februar 1883 rückte man während 24 Stunden um 24,80 *m* vor und der Fortschritt in den letzten anderthalb Monaten oder eigentlich $45^1/_4$ Tagen ergiebt sich aus der Tabelle zu 572,03 *m* oder durchschnittlich zu 12,7 *m* in 24 Stunden, eine Leistung, wie sie sonst wohl noch nirgends vorkam. Dabei waren — wenn kein Missverständniss meinerseits vorliegt — die Arbeitskosten[2]) unglaublich gering, wie nachstehende Zusammenstellung lehrt, welche ebenso wie die Fortschrittstabelle an Ort und Stelle unmittelbar den dortigen Aufschreibungen entnommen wurde.

1) Bei der Berechnung des Volums der eingesogenen Luft wurde, wie es scheint, angenommen, dass jedem Compressor pro Hub 38,452 *cbm* entsprechen, und nur bei Ausmittelung der Zahlen für den Monat Januar fand eine wahrscheinlich auf einen Rechenfehler beruhende geringe Abweichung statt, indem die Multiplication der Tourenzahlen mit 38.452 für das eingesogene Luftvolum 49 729,203 und 434511,445 ergiebt.

2) Die betreffenden Angaben theile ich mit aller Reserve mit.

Monat 1882/3	Betriebskosten	
	Franken	Centimes
Juli	1405	13
August	2006	87
September	3936	86
October	4016	21
November	4216	85
December	4297	67
Januar	4363	27
Februar	4577	89
1.—17. März incl.	2495	95
Summe	31316	70

per 1683,53 *m* oder 18,633 Franken = 14,91 Mark p. lauf. *m*.

Die Summe soll die gesammten Betriebskosten sammt Förderung und Wasserhaltung in Sangatte darstellen, also Löhne, Kohlen, Schmiermittel u. s. f.; nur der Gehalt des leitenden Ingénieur des Mines sei nicht einbegriffen. Auf die Frage, ob Reparaturen eingeschlossen seien, folgte die Mittheilung, dass solche bisher nicht stattgefunden hätten[1]). Uebrigens soll Oberst Beaumont den Stollenvortrieb zu einem Preise von 95 Franken per laufenden Meter übernommen und durchgeführt haben[2]). Nach Breton[3]) genügen bei Anwendung der Beaumontmaschine für alle Arbeiten, vorkommende Ausbesserung einbegriffen, 2 Belegschaften, welche zusammen 29 Mann stark sind.

Der Stollen bedurfte fast nirgends einer Zimmerung. Der Zudrang von Wasser ist nicht ganz gering; es spritzt unter Druck in feinen, parabolischen Strahlen in den Stollen; es ist stellenweise brackig, stellenweise süss und benachbarte Quellen besitzen oft verschiedenen Salzgehalt. Der Wasserzudrang war im Ganzen ein gleichförmiger und betrug per lfd. Meter erbohrten Stollens ungefähr 1 *lit* in der Minute, so dass bei Einstellung der Arbeit 2000 *lit* in der Minute zu heben waren[4]).

Man ging anfangs mit einer Steigung von 0,004 vor, traf aber plötzlich in 345 *m* Entfernung vom Schacht den Gault an der Sohle im linken Stoss — da hier der obere Grünsand fehlt — und musste, um nicht zuletzt ganz im Gault zu sein, mit dem Stollen längs der Grenze von Gault und grauer Kreide in die Höhe gehen. Endlich

1) Falls die Beaumontmaschine in anderem Gebirge sich ähnlich bewährt, wie in der ausserordentlich günstigen grauen Kreide, dürfte sie noch häufige Anwendung finden z. B. da die Benützung von Sprengmitteln entfällt in Kohlenbergwerken. Herr Oberst Beaumont theilte mir mit, dass er sich anheischig mache, durch alle Schichten der Steinkohlenformation mit einer mittleren Geschwindigkeit von 30 bis 40 *m* per Woche einen Stollen von 2,13 *m* Lichtweite zu bohren. Er würde Anbote, betreffend die Durchörterung eines Stollens von 1000 *m* Länge oder mehr gerne erhalten. Er würde selbst die Maschine incl. Compressoren und Leitung, excl. Grubenwagen, Oberbau und etwaige Zimmerung stellen, oder auch die Lieferung der verdichteten Luft der Grube überlassen. Oberst Beaumont glaubte immerhin, er werde für die ersten 1000 *yards* den Betrag von etwa 150 Mark per *yard* (0,914 *m*) berechnen müssen.

Die Anwendung einer hydraulischen Maschine, deren Abwasser den Bohrschmand in fortzupumpenden Schlamm verwandelt, schlug Crampton vor, Mém. et compte rendu d. trav. d. l. s. d. ing. civ. 1882, II. Sem. S. 380, 528. Ferner muss hier auf die Stollen- und Schachtbohrmaschine von Rživa und Reska, Deutsch. Reichs-Pat. 22465 v. 5. April 1882, aufmerksam gemacht werden.

2) Comptes rendus mensuelles des réunions de la société de l'industrie minérale, 1883, S. 95.

3) Ebenda S. 61. 4) Ebenda S. 95.

in einer Entfernung von 774 *m* vom Schacht war die Schichtenerhebung „der Quénocs", welche man wohl nicht so gross gedacht hatte, überschritten, und man konnte mit regelmässiger, schwacher Steigung vorwärtsbohren, bis am 18. März 1883, Morgens, aus den erwähnten Gründen jede Weiterarbeit eingestellt wurde. Die Gesammtlänge des Stollens beträgt 1839,63 *m*; davon liegen 800 *m* unter dem Meere; die Decke zwischen Firste und Meeresgrund ist 28 *m* stark.

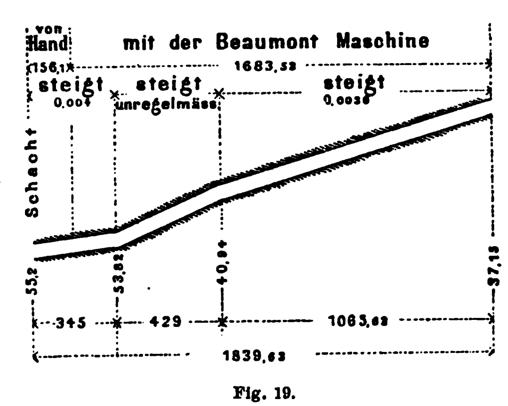


Fig. 19.

Die während der Jahre 1880, 1881 und 1882 erfolgten Auslagen vertheilen sich nach der Zusammenstellung des leitenden Comités wie folgt[1]):

		Frank.	Cent.
Organisation		40886	56
Centralleitung		246194	58
Werkzeuge, Röhren für die Luftleitung, Rollbahnen, Bahnwagen u. s. f.		309231	63
Magazinsvorräthe		46489	54
Grundankauf, Gebäude, Compressoren, Kesselanlage, Brunnenschächte, Wasser- und Dampfleitungen, Einrichtung der Werkstätten und Magazine		210658	86
Geologische Untersuchungen:			
Schacht 1 . . .	194460,03		
„ 2 . . .	167174,21		
Unterer Versuchsstollen bis zum 31. Dez. 1882 entsprechend 969 *m* Länge	173941,67		
Sonstige Stollen, Sondirungen u. s. w.	142175,33		
		677751	24
Guthaben		2085	91
Allgemeine Unkosten der Arbeiten		86514	45
Unterhaltung der Grundstücke, Gebäude, Maschinen, Stollen und Schächte		183715	39
		1603528	16

Die *Association du tunnel sous-marin* hat übrigens den Muth nicht verloren. Sie beschloss in der General-Versammlung vom 9. Mai 1883 die Einzahlung einer weiteren halben Million Francs (400000 Mark), um die geologischen Untersuchungen fortzusetzen, einen Theil des Stollens zu verkleiden u. s. f. Nachdem noch im Winter 1883 eine an der Küste 550 *m* westlich vom Kirchthurm von Sangatte ausgeführte Bohrung, die dritte der Gesellschaft, den Gault 51,70 unter Null — bezw. 72,20 *m* unter der Oberfläche — getroffen hatte, nahm man sich vor, durch ein viertes Bohrloch den Punkt zu bestimmen, wo der Gault 140 *m* unter Null liegt, um darnach die Lage des Pumpschachtes des zukünftigen Tunnels derart festsetzen zu können, dass sich der ganze Wasserstollen seiner Zeit in der grauen Kreide befinden werde.

Der Leiter sämmtlicher Arbeiten in Sangatte, darunter der schwierigen Schachtabteufungen, war Herr Ludovic Breton, Ingénieur des mines; als Maschinenmeister

1) Rapport du comité présenté à l'assemblée générale du 9. mai 1883.

wirkte Herr Welker, früherer Werkstättenleiter des Unternehmers des Gotthardtunnels in Airolo. Beiden Herren bin ich für die sehr freundliche Aufnahme und die liebenswürdige Mittheilung zahlreicher Daten an Ort und Stelle umsomehr zu herzlichem Dank verpflichtet, als ich zur Zeit noch nicht im Besitze irgendwelcher Empfehlungen war.

Die **Vorarbeiten zwischen Dover und Folkestone.** Zunächst wollte man möglichst sicher vor Wasserzuflüssen die Bohrmaschinen prüfen. Man begann daher unter der Abbotsklippe, dort wo die graue Kreide zu Tage tritt, einen kurzen, nicht bis zum Meeresspiegel reichenden Schacht abzuteufen, zum Zwecke der Förderung einen etwa 90 *m* langen Querschlag von ihm aus gegen das Ufer zu führen und entsprechend der künftigen Tunnellage einen unter 1 : 80 gegen das Ort zu fallenden, durchweg über Hochwasser liegenden Stollen mit dem Strand parallel gegen Westen vorzutreiben. In diesem liess man sofort im Frühling 1880 die Beaumont-English-Maschine arbeiten, bis der Stollen eine Länge von etwa 730 *m* erreicht hatte. Der Schacht diente blos zur Lüftung und Wasserhaltung; man förderte mit Hülfe von Ponies zum Querschlag hinaus; zur Beleuchtung dienten Kerzen.

Sir Edward Watkin war stets der Ansicht, dass vor allem ein Stollen unter dem Meere vollständig durchzutreiben sei, indem erst seine Vollendung dem Unternehmen das öffentliche Vertrauen erwerben und damit die Geldbeschaffung ermöglichen werde. Sobald also die Stollenbohrmaschine ihre Tüchtigkeit in Abbotscliff gezeigt hatte, liess er näher an Dover einen zweiten Schacht und einen Stollen aussprengen und hier die Maschine weiterarbeiten. Die Aufmaasse dieser am 22. Juli 1882 aus den erwähnten Gründen eingestellten Arbeiten sind die nachstehenden [1]: Der Schacht liegt etwa 82 *m* westlich vom westlichen Ausgange des Shakespeare-Tunnels der Südostbahn und etwa 32 *m* südlich von der nächsten Schiene dieser Bahn; er ist 2,743 *m* weit, 49,68 *m* tief, reicht 36,57 *m* unter Hochwasser und wurde mit Brettern verkleidet. Der Stollen ist 1920 *m* lang und das Ort liegt um ungefähr 21,4 *m* tiefer als Stollenanfang. Das Gefälle ist nicht ganz gleichmässig. Der Stollen läuft nicht ganz in gleicher Richtung mit dem Ufer, sondern dreht sich ein wenig nach Frankreich. Es liegen in Folge dessen 686 *m* bereits jenseits der Niederwassergrenze unter dem Meere und das Ende befindet sich etwa 400 *m* südwestlich vom Kopfe des Admirality-Piers in Dover ungefähr 45,6 *m* unter dem Meeresgrund. Die ersten 18 *m* schachtete man von Hand mit viereckigem Querschnitt aus und verzimmerte sie; das Uebrige wurde mit der Beaumont-English-Maschine mit einer Lichtweite von 2,134 *m* gebohrt und bedurfte nur an wenig Stellen einer Unterstützung. Das Gebirge besteht durchweg aus grauer Kreide, ist im allgemeinen gleichmässig und weich, wird jedoch von zwei Gängen härterer Kreide durchsetzt, zeigt Spuren einer Schichtung, indem dort, wo man neue Lagen anbohrte, die Enden des entstandenen Keiles manchmal abbrachen und enthält wenig Versteinerungen; auch einige Schwefelkieskrystalle wurden gefunden [2]).

Das Gebirge war so trocken, dass es bei der Ausbohrung staubte. Dort wo kleine Durchsickerungen vorkamen, gestattete die Regelmässigkeit des mit der Maschine ausgehöhlten Cylinders die Dichtung mit Gussringen, deren Aussendurchmesser

1) Corr. S. 360—361 und 367.

2) Vgl. The Engineer vom 24. Febr. 1882, Bd. 53, S. 143.

genau gleich der Lichtweite des Stollens war. Jeder Ring war 30 *cm* breit, und bestand aus 5 Gussstücken, welche behufs Verschraubung mit den Nachbarstücken ringsum mit Flanschen versehen waren. Man verlegte zuerst die 4 unteren Ringtheile und fügte dann das Schlussstück ein. Die zu seiner Befestigung dienenden Schrauben trugen derart geschnittene Gewinde, dass sich bei Anzug der Schrauben das Schlussstück gegen die Firste andrückte. Die entstehenden beiden Fugen dichtete man mit eingeschobenen Blechstreifen. Bei etwas stärkeren Quellen wandte man mit Erfolg zur weiteren Dichtung eine Art Mennigkitt an, der bei Aufstellung der Ringe gegen den Felsen gepresst wurde. Dieser Kitt diente auch zur Dichtung der Stossfugen zweier Ringe, dort wo die Spalten den Stollen schräg durchsetzten und zwei oder mehr Ringe neben einander gestellt werden mussten. Die beschriebene Dichtungsweise hat sich gut bewährt, indem die Aufstellung eines Ringes blos $^1/_2$ Stunde erforderte und die fast vollständige Verstopfung der Einläufe gelang[1]. Thatsächlich war, so lange der Stollen im Betrieb stand, keine Wasserhaltungsanlage nothwendig und man schöpfte einfach das vor Ort zusammenlaufende Wasser mit Eimern aus, welche man dann den Schacht hinaufhob und ausleerte. Nach Einstellung der Arbeiten wollte man in der Lage sein, jederzeit den Stollen rasch trocken legen zu können, und so stellte man vor Ort eine kleine mit verdichteter Luft zu treibende Pumpe auf, welche das Wasser in einen an der Schachtsohle befindlichen Behälter drückt, und ordnete hier eine zweite ebenfalls mit verdichteter Luft zu bewegende Pumpe an.

Zur Stollenförderung dienten Grubenwagen, die von Hand gestossen wurden. Es liegt fast durchweg doppeltes Geleise. Die Schachtförderung besorgte nach dem „Engineer" eine umgebaute Locomotive.

Die Beleuchtung erfolgte mit Swanlampen, die in Entfernungen von etwa 45 *m* hingen und 20 Kerzen Leuchtkraft besassen, mit Hülfe einer Siemensmaschine und einer Locomobile von etwa 6 Pferdekräften.

Zur Luftverdichtung sollen zwei liegende Zwillingsmaschinen mit Compressoren von Greenwood & Batley gedient haben und als Reserve sei auch eine eincylindrige liegende Maschine vorhanden gewesen, an deren Kurbelwelle zwei Compressoren gekuppelt waren.

Die Bohrmaschine war von Oberst Beaumont im Verein mit Captain English entworfen. Sie gleicht im Wesentlichen (vgl. Fig. 45 Tafel XIV) der später in Sangatte benutzten, nur besitzt sie keine hydraulische Vorschubpresse; statt dessen ist die Hauptachse mit Schraubengängen versehen. Die Länge der ganzen Maschine beträgt ungefähr 10 *m*; der Querbalken oder Bohrkopf ist 2,134 *m* lang; die mit comprimirter Luft betriebenen Maschinen, welche die Drehung bewirken, haben 0,305 *m* Kolbendurchmesser, 0,254 *m* Hub und man liess sie 125 Touren pro Minute machen; während derselben Zeit beschrieb der Bohrkopf $2^1/_2$ Umdrehungen[2]. Jeder Arm des Bohrkopfes trägt 7 Messer. Nach je 1,321 *m* Vortrieb muss man das Gleitlager nachrücken lassen. Oberst Beaumont äussert sich bei Beschreibung der Maschine wie folgt: „Der Bohrkopf sitzt auf einer wagrechten Welle und das Räder-

---

1) Nach Daubrée, comptes rendus de l'académie des sciences, Bd. 94. S. 1678—1682.

2) Nach Tylden-Wright im genannten Aufsatze, dem auch die Abbildung entnommen wurde.

werk dient blos zur Umwandlung der Geschwindigkeit, so dass bei rasch gehenden Kraftmaschinen der Bohrkopf nur 3 Umdrehungen pro Minute[1]) macht. Für diese Einrichtung war die Erwägung massgebend, dass die an den Messerenden erzeugte Wärme der geleisteten mechanischen Arbeit entspricht, dass also bei zu grosser Geschwindigkeit sich die Messer zu sehr erhitzen würden." Oberst Beaumont deutet ferner den Vorzug an, der in der Anwendung einer einzigen Drehaxe und eines einzigen Querbalkens besteht, wodurch der Raum hinter den Messern leicht zugänglich bleibt. Den Luftverbrauch giebt Tylden-Wright bei 125 Touren und 19 *mm* Fortschritt per Minute zu 7,079 *cbm* Luft von 2,1 *Atmosphären* (Ueberdruck) oder zu 21,2 *cbm* Luft gewöhnlicher Spannung per Minute an.

An dem Schachteingang befand sich bei meiner Anwesenheit in Dover eine Luftlocomotive von der bekannten Beaumont'schen Anordnung, welche in Folge der Arbeitseinstellung nicht in Thätigkeit gekommen war. Bekanntlich kennzeichnet sich jene Bauweise dadurch, dass zur Vermeidung sehr grosser Luftbehälter, die Maschine Luft von hoher Spannkraft — etwa 70 *Atmosphären* — mit sich führt, dass an den Triebwellen Woolf'sche Maschinen wirken, in welche die Luft ohne Drosselung, also ohne den ihr entsprechenden Arbeitsverlust einströmt und dass, der bedeutenden Abkühlung wegen, welche die starke Expansion hervorruft, der Cylinder geheizt wird. Er ist zu diesem Zwecke mit Dampfmänteln versehen, durch welche der Dampf eines kleinen Kessels streicht. Die Maschinen tragen einen oder mehrere Luftbehälter und können natürlich auch einen Lufttender mitschleppen. Die für Dover gewählten Maasse waren[2])

Durchmesser des Hochdruckcylinders	51 *mm*
" " Niederdruckcylinders	178 "
Hub	305 "
Durchmesser der Triebräder	610 "
" " Laufräder	356 "
Leergewicht sammt Behälter	7,77 *metr. Tonnen*
Behälterinhalt	1,84 *cbm*
Spurweite	571 *mm*
Der Anfangsdruck soll betragen	70 *Atmosph.*

Da vor Allem die Rücksichten auf die Stollenlüftung die Wahl der gepressten Luft als Triebquelle veranlassten, soll das Ergebniss einiger im Januar 1882 in Stratford vorgenommener Bremsproben besprochen werden. Zunächst hielt man die Compressoren während 4 Stunden beständig derart im Gange, dass der Luftdruck im Maschinenbehälter stets gleich 70 *Atmosph.* — bezw. 52,5 *Atmosph.* — blieb, obwohl an den gebremsten Rädern eine Arbeit von 13,12 — bezw. 14,06 — englischer Pferdestärken verrichtet wurde. Hierbei verbrannten im Heizkesselchen nur 13 — bezw. 11 — engl. Pfund Kohle, so dass einer Pferdekraft ein stündlicher Verbrauch von 0,248 — bezw. 0,196 — Pfund Kohle entsprach. Die beiden folgenden Versuche stellten fest, dass bei einer Abnahme des Druckes von 70 auf 18,2 bezw. 19,25 *Atmosph.* im 96,2 *Cub.-Fuss* fassenden Behälter ein per Minute stattfindender Verbrauch von 1 *Cubikfuss* 70 atmosphäriger Luft 5,36 bezw. 5,06 Pferdestärken liefert, oder für jede Pferdekraft im Mittel stündlich 800 *Cubikfuss* Luft von gewöhnlicher

1) Oberst Beaumont hielt seinen Vortrag ein Vierteljahr nach Tylden-Wright; möglicherweise liess man jetzt die Maschine schneller arbeiten als früher.

2) Nach Tylden-Wright genannten Orts S. 11 u. 12.

Spannung in den Tunnel treten. Da nun während derselben Zeit zwischen 0,248 und 0,196 *Pfund* Kohle[1]) verbrennen, welche bei einem Kohlenstoffgehalt von 80% etwa 5,5 *Cubikfuss* Kohlensäure geben, so entströmt — wenigstens zu Anfang der Fahrt — der Maschine ein Gasgemenge, welches in 1000 Raumtheilen ungefähr 68 Raumtheile Kohlensäure enthält, während in 1000 Raumtheilen Grubenluft nicht mehr als 1 bis höchstens 10 Theile Kohlensäure sein dürfen. Man kann demnach Tylden-Wright nicht beistimmen, wenn er von der Beaumontmaschine nicht blos keinen erheblich verschlechternden, sondern sogar einen verbessernden Einfluss auf die Stollenluft erwartet. Uebrigens hoffte Oberst Beaumont, dass man auch den Betrieb[2]) des fertigen Tunnels mittelst seiner Locomotive bewerkstelligen werde.

Die Vorarbeiten bei Dover standen unter der Leitung des Ingenieurs Brady der *Submarine Continental Railway-Company*. Verschiedene Daten verdanke ich der gütigen Mittheilung des Herrn Oberst Beaumont.

Veranschlagte Kosten und Erträgnisse. Die Geldfrage hat zwar, da es in nächster Zeit gewiss nicht zum Bau kommt, ihre Bedeutung verloren, immerhin aber soll sie — der Vollständigkeit wegen — Erwähnung finden. Thomé de Gamond[3]), welcher eine künstliche Insel anschütten und durch diese einen Schacht abteufen wollte, schätzte die Herstellungszeit auf 8 Jahre, die Kosten auf 144 Millionen Mark; Hawkshaw[4]) meinte 200 bis 160 Millionen zu benöthigen und — wie es scheint — 10 Jahre, während sein Gefährte Brunlees sich mit 140 Millionen[5]) begnügte. Beaumont[6]) glaubte zunächst, 5 Jahre und 100 Millionen seien das Richtige, ging aber in Folge der Ergebnisse der Versuchsstollen auf 4 Jahre und 80 Millionen bis besten Falles 60 Millionen herunter. Er nahm bei Berechnung der 80 Millionen[7]) die Gesammtlänge des Tunnels zu 45,7 *km* an — was etwas zu wenig sein dürfte — und rechnete für den laufenden Meter 1750 Mark, ein Betrag, der in Anbetracht des günstigen Gebirges bei Anwendung der Beaumontmaschine, wenn sich keine ausserordentlichen Unfälle ereignen, auskömmlich scheint. Hinzu kämen die Anlagen zur Zerstörung und Vertheidigung, welche je nach dem, was gewünscht wird, unbegrenzte Summen erfordern können.

Die Veranschlagung des künftigen Verkehres ist eine noch schwierigere als die der Herstellungskosten. Gegenwärtig beträgt die Anzahl der Reisenden von und nach England, welche die französischen Häfen Calais, Boulogne und Dieppe berühren, 400000, während 100000 über Ostende und Vlissingen fahren. Die Ueberfuhr zwi-

1) 1 *Pfund* Kohlenstoff liefert ungefähr 31,5 *Cub.-Fuss* Kohlensäure.

2) Die Frage des Betriebes und der Lüftung langer Tunnel wurde eingehend behandelt in einem Vortrage von Gabriel J. Morrison und der dem Vortrage folgenden Besprechung s. Min. of Proc. of the Inst. of Civ. Eng. Bd. XLIV, 1876. Vgl. auch M. M. von Weber, der Eisenbahnbetrieb durch lange Tunnels mit einem Anhang: Die Wechselwirkung zwischen dem continentalen und den englischen Bahnsystemen nach der Vollendung des unterseeischen Tunnels. Wien, Pest, Leipzig, 1877. Kreuter, Grundgedanke eines Ventilations-Systems für lange Tunnels, Wochenschr. d. österr. Ing.- u. Arch.-Ver. 1879, S. 149 u. f. nebst Entgegnung von Hauser, ebenda S. 164. Crampton, Ueber den Vortheil der Anordnung von 3 Hohlröhren für den Bau, die Lüftung und den Betrieb langer Tunnel, Engineer 1883, Bd. 56, S. 308. Viele der früher gefürchteten Schwierigkeiten dürfte die Anwendung der von Honigmann erfundenen Natronlocomotive hinwegräumen.

3) Mémoire sur les plans etc. S. 102. 4) Corr. S. 205. 5) Corr. S. 93.

6) Address on the Channel tunnel S. 74. 7) Vermuthlich excl. Bauzinsen.

schen Dover und Calais kostet erster Klasse 8,50 Mark, zweiter Klasse 6,50 Mark. Wenn man annimmt, dass den Tunnel jährlich 1 Million Reisende zum Durchschnittspreise von 6 Mark benutzen, so gibt dieses 6 Millionen Mark, welche mit vielleicht 2 Millionen Frachteinnahmen zusammen 8 Millionen Gesammteinnahmen geben würden. Bei 50 % Unkosten beziffert sich die Reineinnahme dann auf 4 Millionen, was einer 5 procentigen Verzinsung obiger 80 Millionen Baukosten entspräche. Watkin[1]) schätzt den Verkehr bedeutend höher und ist der Ansicht, es würden so viel Züge voll werden, als man nur befördern kann. Mögen seine Worte auch übertrieben sein — er spricht sogar von einem Zuge alle 5 bis $7^1/_2$ Minuten[2]) — so wäre die unterseeische Verbindung von England und Frankreich andrerseits gewiss kein finanziell so aussichtsloses Unternehmen[3]), wie ebenfalls ab und zu behauptet wurde.

Das Hauptsiel der Stadt Brighton.

Anlässlich der Schilderung der Vorarbeiten für den Canal-Tunnel wurde der manche Rückschlüsse auf eigentliche Bauten unter Wasser gestattende Sielbau des bekannten, damals vielleicht 120000 Einwohner zählenden Badeortes Brighton erwähnt, welcher an der Küste des Aermelcanales etwas über 100 *kilom* westlich von Dover liegt. Nähere Angaben, einem bezüglichen Vortrage[4]) entnommen, sollen hier ihren Platz finden. Die Entleerung des Abwassers von Brighton in das Meer erfolgte früher unmittelbar vor der Stadt; um die mit dieser Entwässerungsweise verbundenen Uebelstände zu beseitigen, erbaute man nach den Angaben von Sir John Hawkshaw, unter Leitung von John George Gamble ein Hauptsiel längs der Küste, welches östlich von Brighton bei Portobello in eine mit der See in Verbindung stehende Schützenkammer mündet.

Der obere Theil dieses Siels in einer Länge von 3,2 *kilom* wurde im Einschnitt, der untere 8,4 *kilom* lange, gänzlich in oberer Kreide liegende Theil — zwischen Steyne und Portobello — grösstentheils bergmännisch ausgeführt.

Zwischen Steyne und Blackrock fand, obgleich die Felsdecke über der Firste nur 0,9 bis 2,1 *m* stark war, nur ein erheblicher Niederbruch statt. Auf dieser Strecke wendete man stets 3 Kronbalken an, welche an einem Ende auf dem fertigen Mauerwerk, am andern auf einer Brustzimmerung aufruhten, und welche man, wenn das Gewölbe in die Höhe rückte, vorwärtszog. Im übrigen Stollen wurden Kronbalken häufig, aber nicht durchweg benutzt.

Der Querschnitt zwischen Steyne und der Schützenkammer ist kreisförmig 2,134 *m* im Lichten weit, und die Dicke der Mauerung beträgt in dem näher der Stadt gelegenen Theile 229 *mm*, im untersten Kilometer Strecke 343 *mm*. Von der Schleusenkammer zur See (158 *m*) führt ein in Ziegeln 457 *mm* stark gemauertes Siel, an welches sich 3 nebeneinander liegende Gussrohre von 1,219 *m* Durchmesser anschliessen. Die

---

1) Corr. S. 203. 2) Corr. S. 93. 3) Vgl. z. B. Builder, 1881, S. 147.

4) The Brighton Intercepting and Outfall Sewers by John George Gamble, B. A., Assoc. Inst. C. E., Minutes of proceedings of the Instit. of Civ. Eng. XLIII, 1876, S. 191—203 mit Besprechung auf S. 204—224.

Schützenkammer ist in Kalkmörtel, die Siele sind in Portlandcement (von 2 Theilen scharfem Sand auf 1 Theil Cement) gemauert. Zur Sohle verwendete man Ziegel aus gepresstem Gault, zu der übrigen Wandung nicht gepresste Gault- und sonstige Ziegel. Die Herstellung fand in Strecken von 3,66 *m* Länge statt, wobei immer 2 Maurer und eine Anzahl Handlanger an einer Strecke arbeiteten. Wo die Sohle nass war, verlegte man vorgemauerte Blöcke aus 8 ganzen und 4 halben ungepressten Backsteinen, an welchen der Cement besser haftete als an den gepressten. War alles gut im Gange, so stellte man wöchentlich 120 *m* — einmal sogar 150 *m* — fertig; auf eine günstige folgte aber meistens eine böse Woche.

Die innere Leibung des Sohlgewölbes liegt in Steyne 6,553 *m*, in Blackrock 4,343 *m*, an der Schützenkammer 0,610 *m*, an der Mündung 0,0 *m* über Springfluthniedrigwasser und die Fluthhöhe beträgt bei tauben Fluthen 2,744 *m*, bei gewöhnlichen Springfluthen 6,096 *m* und bei den höchsten Springfluthen 6,705 *m*; ein Theil des Stollens befand sich daher meistens tiefer als der äussere Wasserspiegel. Aus der Thatsache, dass an der dortigen Küste viele Süsswasserquellen entspringen, und dass der Wasserstand einiger Brunnen mit den Gezeiten wechselt, folgerte man, dass man viel Wasser zu pumpen haben werde. Während des Sommers 1872 lag der Bau still und da fand sich die Wasserhöhe in einem Schachte, in welchem eine Quelle ungefähr 30 *cm* über Mittelhochwasser angeschlagen worden war, abhängig von der Fluthhöhe und zwar erreichte der Spiegel im Schachte seine höchste Lage zwei Stunden später als die Fluth. Während des Baues geschah die Zuleitung des zu hebenden Wassers nach den in den Schächten aufgestellten Pumpen durch unter dem Sohlgewölbe verlegte Thonröhren, welche man nach dem Durchschlag zweier benachbarter Strecken verpflockte, oder mit Hülfe zu diesem Zwecke eingebauter Schieber verschloss. Die Verwendung eiserner Röhren wäre, wie sich später herausstellte, vortheilhafter gewesen, indem sich die Thonrohrdichtungen durchlässig zeigten und man grössere Mengen als eigentlich nöthig pumpen musste. — Längs einzelner Spalten im Gestein, deren Einströmungen den Maurern sehr hinderlich waren, haute man Wasserseigen aus, deren äusseren Rand man, wenn erforderlich, mit Letten erhöhte. Jedes solche Rinnsal führte das Wasser die zu verkleidende Strecke entlang, und mündete in die unter der Sohle befindliche Rohrleitung. Am Spalt verwendete man Ziegelblöcke, mauerte einen Rohrstutzen ein, stampfte dann das erwähnte Rinnsal mit Letten aus, und liess das Wasser in den Stollen durch den Rohrstutzen fliessen, bis man auch diesen nach einigen Tagen verpfropfen konnte. Die Rohrstutzen gingen nicht durch die ganze Mauerstärke und so liessen sich zum Schlusse noch einzelne Ziegel einsetzen, welche die verpfropften Röhrchen verdeckten. Manchmal setzte man Bruchsteinplatten vor die Spalten; für eine stärkere Quelle unweit Portobello stellte man eine eigene in den Hauptstrang mündende Nebenleitung her, welche man nach Vollendung der betreffenden Mauerstrecke verpflockte. Das einfache Dichten der Spalten durch Eintrieb trockener Tannenholzkeile, obgleich es auch in der Kreide schon mit Vortheil angewendet worden ist, liess sich in dem brüchigen Gebirge des Brightoner Hauptsieles nicht ausführen. Wenn das Wasser zwischen dem Gewölbe und dem Gestein durchdrang, spitzte man im Felsen eine Nut aus und verstärkte ihr entsprechend die Verkleidung um einen ganzen oder halben Stein. Die gesammte ungefähr 9 *m* hoch zu hebende Wassermenge betrug während

eines längeren Zeitraumes 45,4 *cbm* per Minute oder 65000 *cbm* in 24 Stunden. Die Wasserhaltung besorgten 13 Pumpen von ungefähr 0,5 *m* Durchmesser, zu deren Antrieb eine 50pferdige Maschine und 8, je etwa 14 Pferde starke Locomobilen dienten, welch letztere besonders an den Sideröhren und Feuerbüchsen sehr durch die Speisung mit Brackwasser litten.

Bei einer Stollenlänge vom nächsten Schacht aus von 150 bis 200 *m* wurde die Luft schlecht und man trieb dann Querschläge gegen das Ufer. Durch Strecken, welche mit zwei Schächten in Verbindung standen, wehte ein so heftiger Zug, dass man, um ein Verlöschen der Kerzen zu hindern, Wetterthüren einsetzen musste. Eine von einem Schachte etwa 300 *m* weit gehende Strecke bedurfte eines Ventilators.

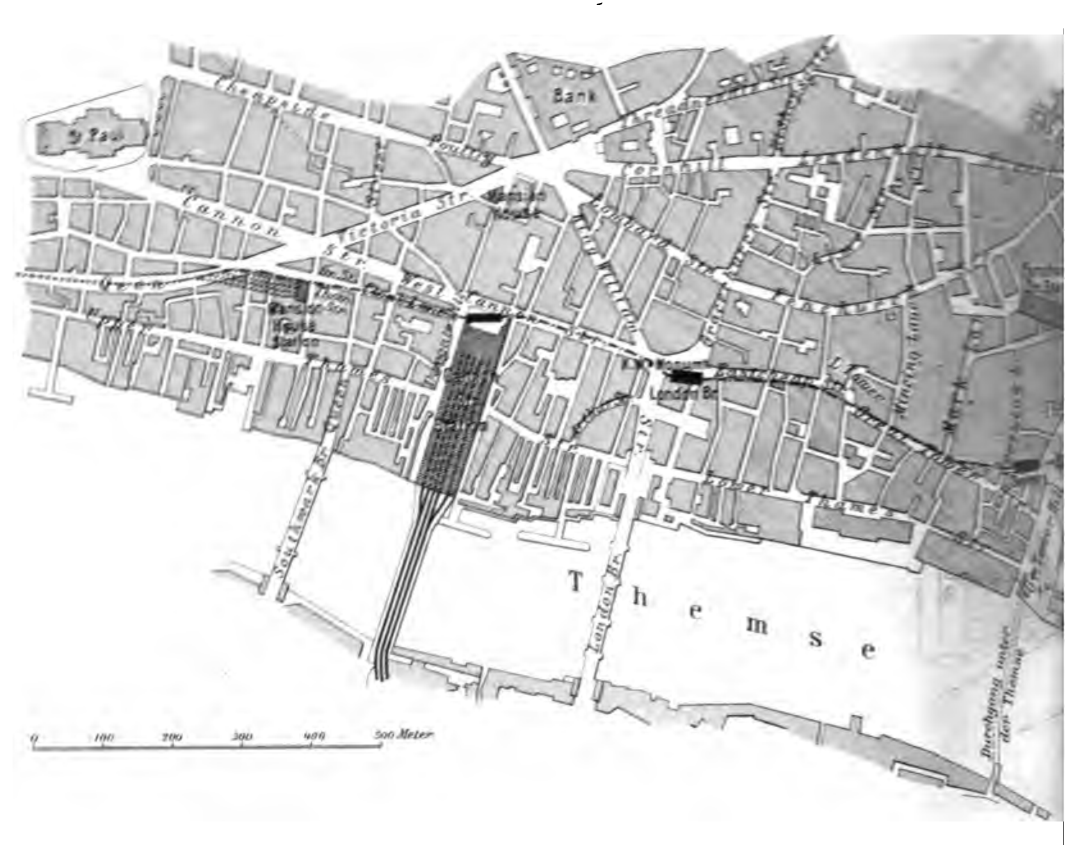
Die ersten Unternehmer, welche den Bau 1871 begannen, führten ihn nicht zu Ende. Im Mai 1872 schloss die Stadt einen neuen Vertrag mit der Firma John Aird & Söhne. Die Preise in Mark für den laufenden Meter des 2,134 *m* weiten Sieles waren:

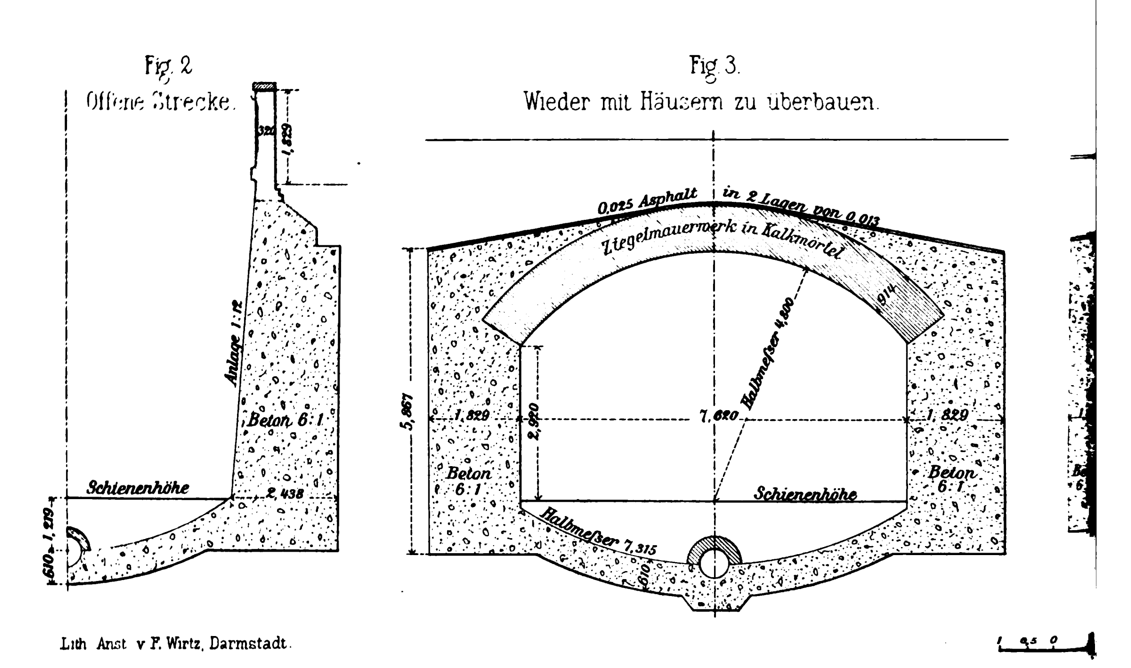
	Erste Unternehmung	Zweite Unternehmung
bei 0,229 *m* starkem Mauerwerk	88,58	134,52
„ 0,343 „ „ „	127,95	187,01.

Trotz der erhöhten Preise verlor die zweite Unternehmung noch 800000 Mark zum grossen Theile in Folge der unerwartet bedeutenden Wasserhaltungskosten.

Der Sielbau an der Kreideküste von Sussex beschliesst die Reihe der englischen Ausführungen unter Wasser, welche bisher noch keine eingehendere Behandlung in der deutschen, technischen Litteratur fanden und in dem vorliegenden Berichte besprochen werden mussten. Auf jene Einzelheiten, welche mir bei den im Vorhergehenden beschriebenen Herstellungen am beachtenswerthesten schienen, habe ich bereits in der Vorrede aufmerksam gemacht, und daran eine Aneinanderreihung jener Maassnahmen geknüpft, welche bei den verschiedenen, geschilderten Bauten zu ähnlichen Zwecken dienten. Hier beschränke ich mich auf die Schlussbemerkung, dass die erhebliche Anzahl der in England und anderwärts — insbesondere in den Vereinigten Staaten — unter Wasser vollendeten Strecken von Bahnen, Strassen, Wasserwerken, Sielen, Bergwerken und Sprenganlagen den Beweis liefern dürfte, dass die Methode der unterirdischen Kreuzung von Strömen und Meeresarmen nicht in das Reich abenteuerlicher Wagnisse verwiesen werden darf, sondern dass sie vielmehr in hohem Grade die Beachtung der Techniker verdient. Es ist zu hoffen, dass mit unseren wachsenden Erfahrungen und unserer zunehmenden Sicherheit in der Prüfung und Lösung der bezüglichen Aufgaben der „Tunnelbau unter Wasser" in Zukunft eine noch weit allgemeinere thatsächliche Würdigung finden werde als bisher, vor allem eine häufigere Anwendung auf dem europäischen Festlande als ihm bis heute zu Theil geworden ist.

Universitäts-Buchdruckerei von Carl Georgi in Bonn.





Lith. Anst. v. F. Wirtz, Darmstadt.

ı Aldgate und dem Tower.

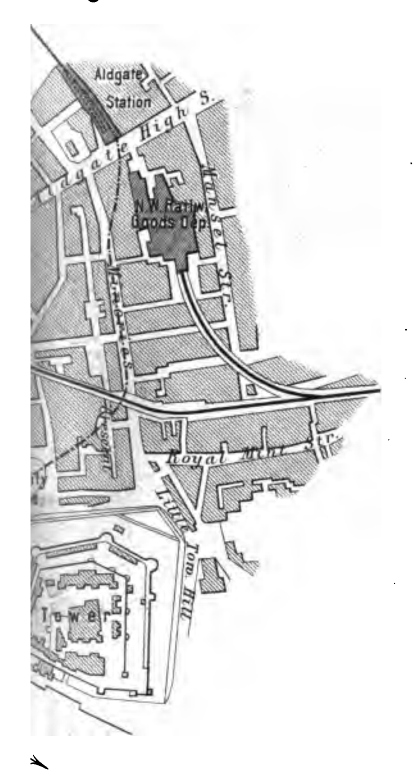


Fig. 5.
Unter dem Crescentplatz.

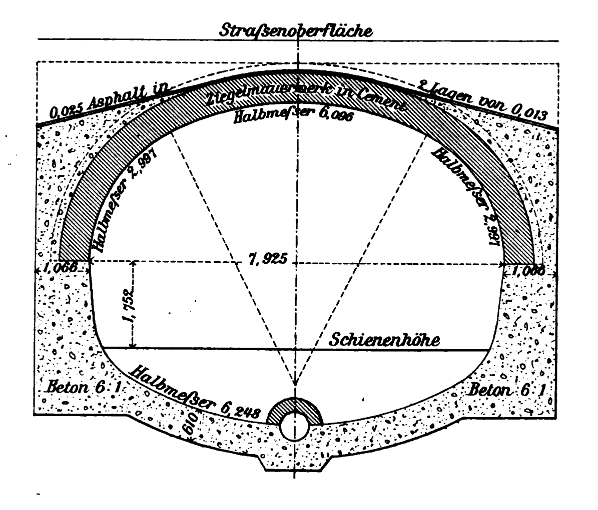


Fig. 4.
Unter den Minories.

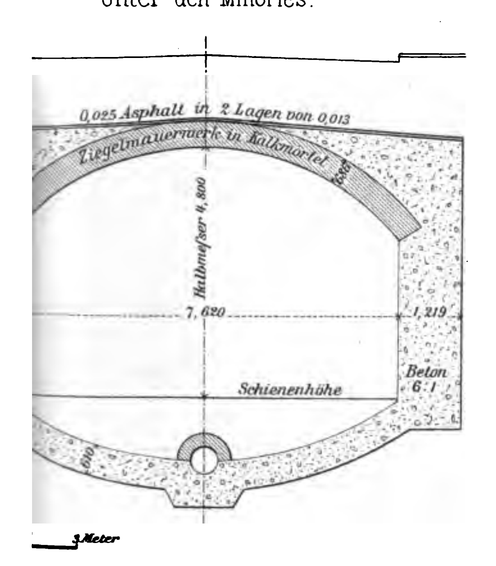
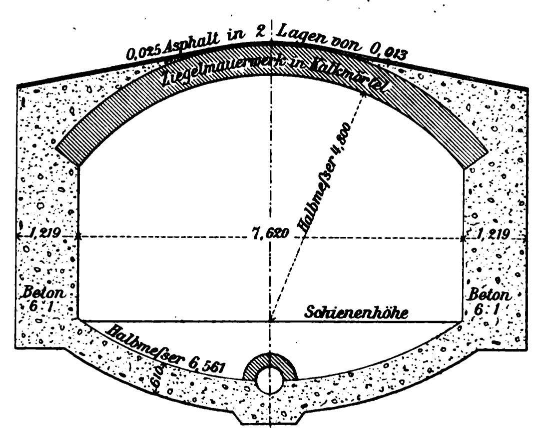


Fig. 6.
Unter dem Trinity-Square.



Verlag v. J. A. Mayer, Aachen.

Ältere Profile der Metr

Fig 7a Hohes Profil mit Luftschacht über dem Scheitel

Fig 7b Schnitt a a.

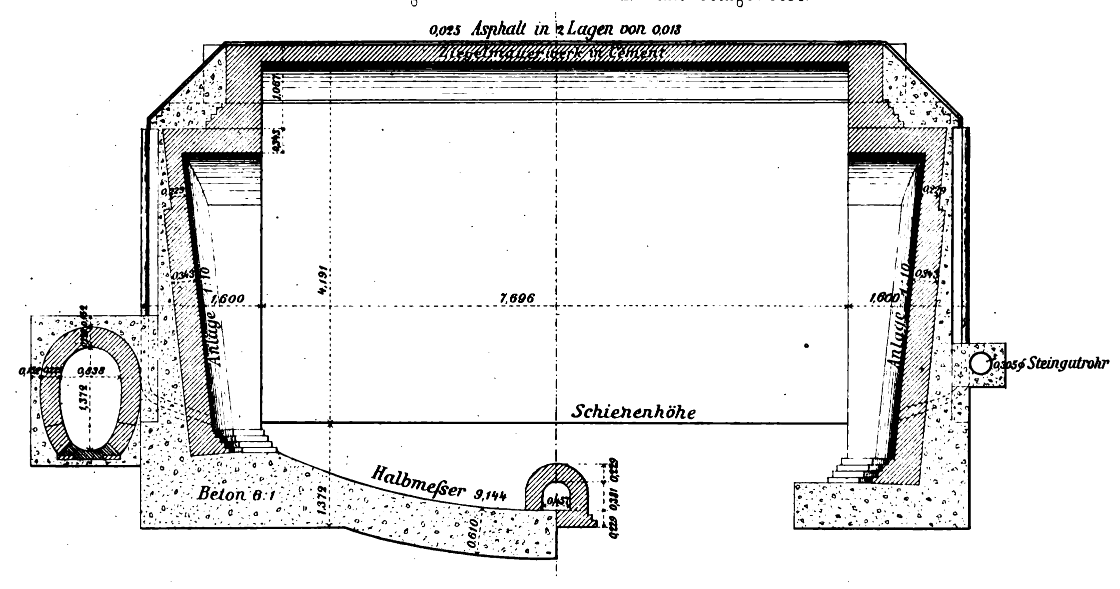
Fig. 7c

Fig 8a Hohes Profil mit seitlichem Luftschacht

Lith. Anst. v. F. Wirtz, Darmstadt.

Fig. 9ᵃ. Niedriges Profil.

1. Mit Sohlgewölbe. 2. Ohne Sohlgewölbe.



1 0,5 0 1 2 3 4 Meter

Fig. 9ᵇ.

0,025 Asphalt in 2 Lagen von 0,013

Ziegelmauerwerk in Cement

1,067 0,800 1,334 0,800 1,334 0,800 1,334 0,800

Schienenhöhe

Bruchsteinplatte

1,524

Beton 6:1

Fig. 8ᵇ.

0,025 Asphalt in 2 Lagen von 0,013

Ziegelmauerwerk in Cement

0,800

5,486

Nischen in etwa 18,29 m Entfernung zu beiden Seiten der Bahn.

1,981

1,219

Schienenhöhe

Bruchsteinplatte

Schächte in etwa 30,5 m Abstand

0,610

Beton 6:1

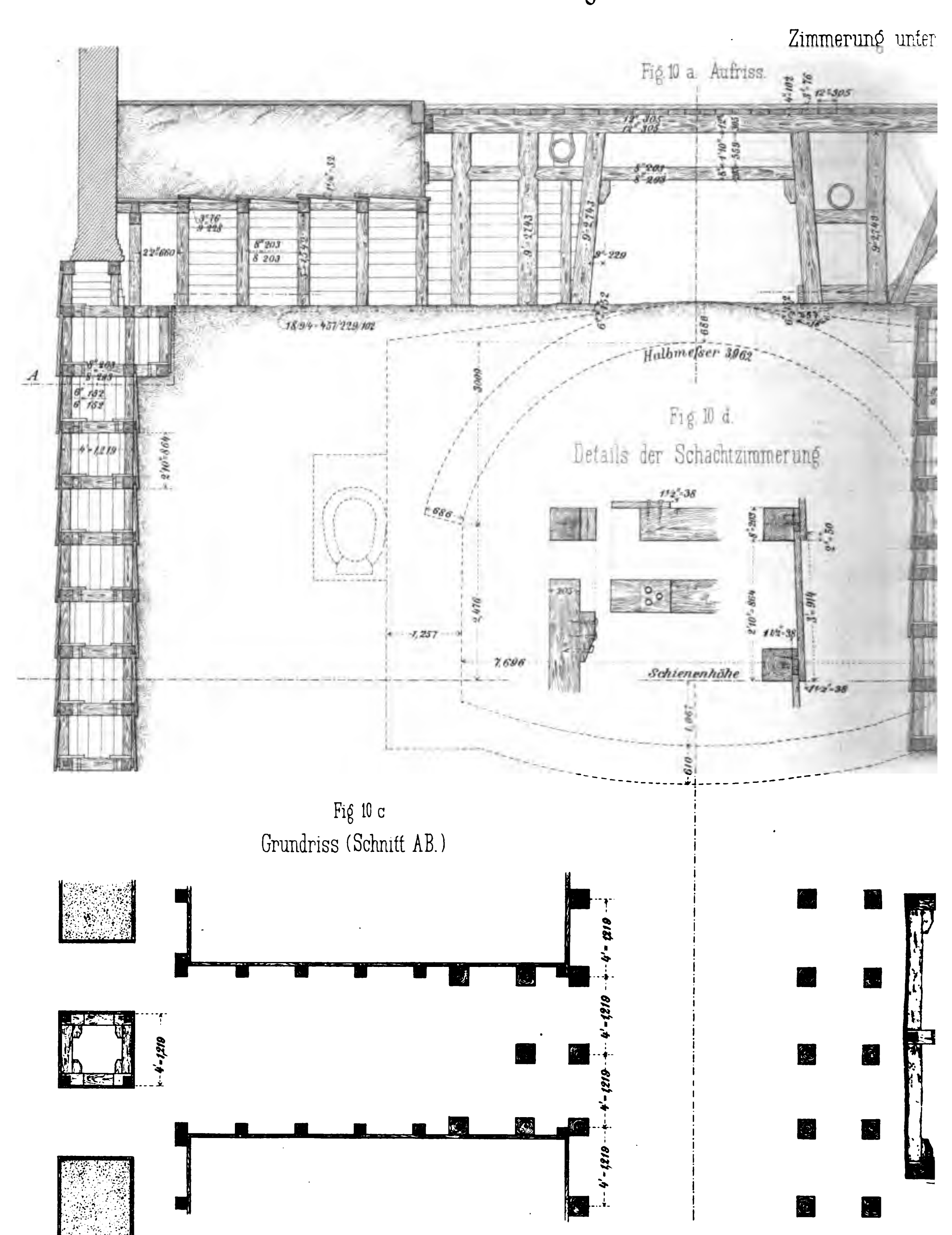
Fig. 9ᶜ.

1,334

Verlag v. J. A. Mayer, Aachen.

Untergrundbahn zwischen der Mansi

Zimmerung unter



Lith. Anst. v. F. Wirtz, Darmstadt.

enhouse-Station und dem Tower.

der Strasse.

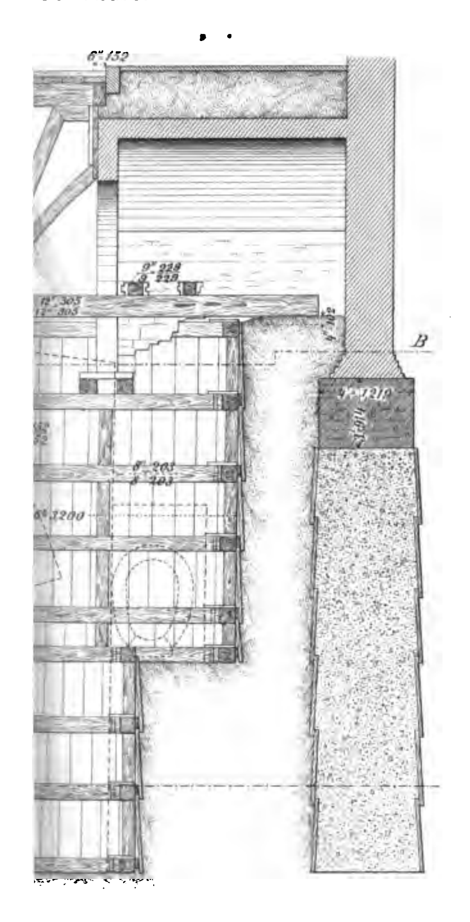
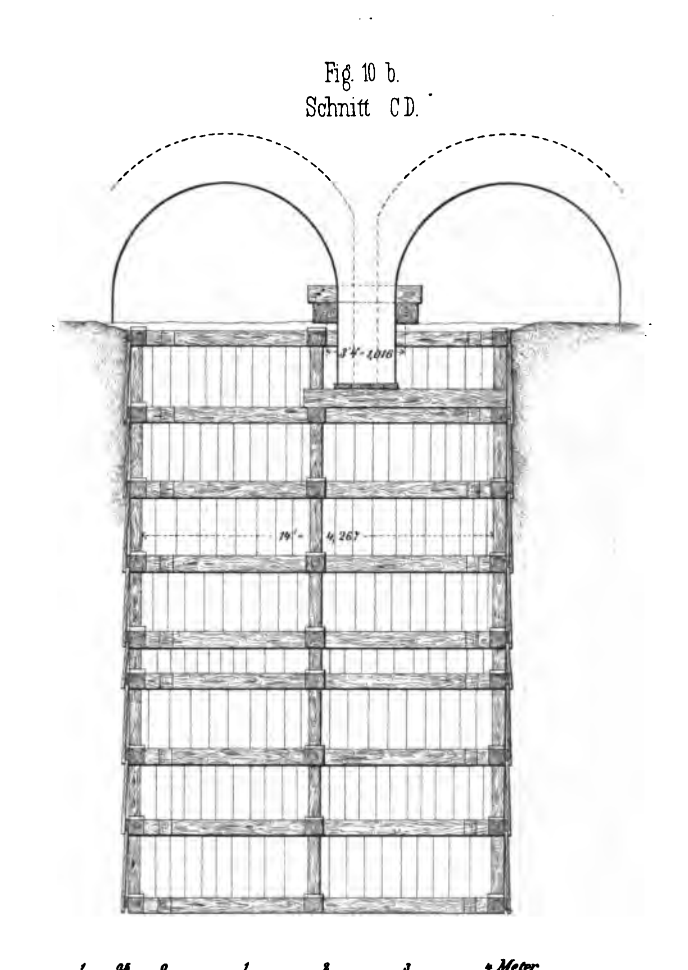


Fig. 10 b.
Schnitt C D.



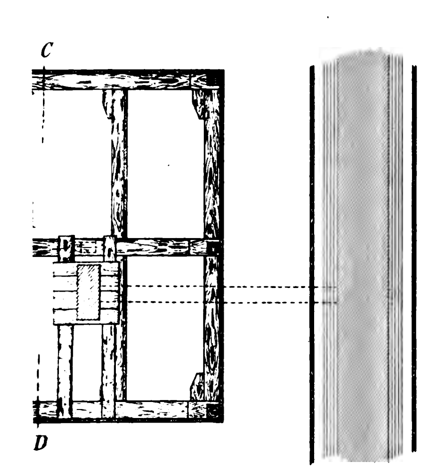
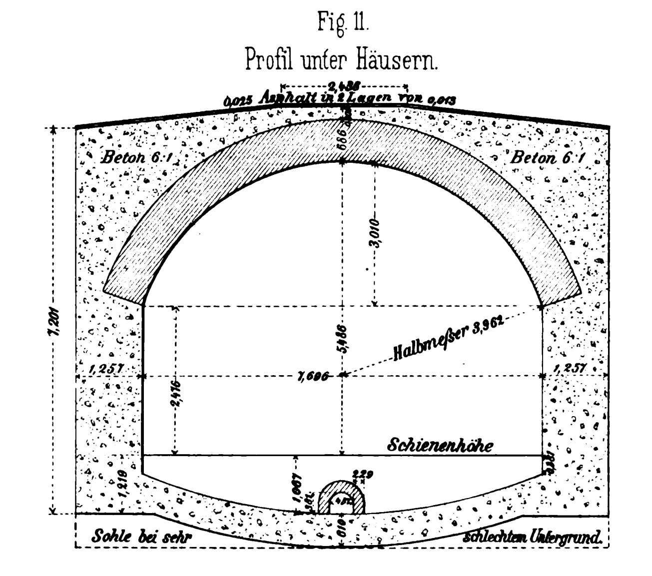
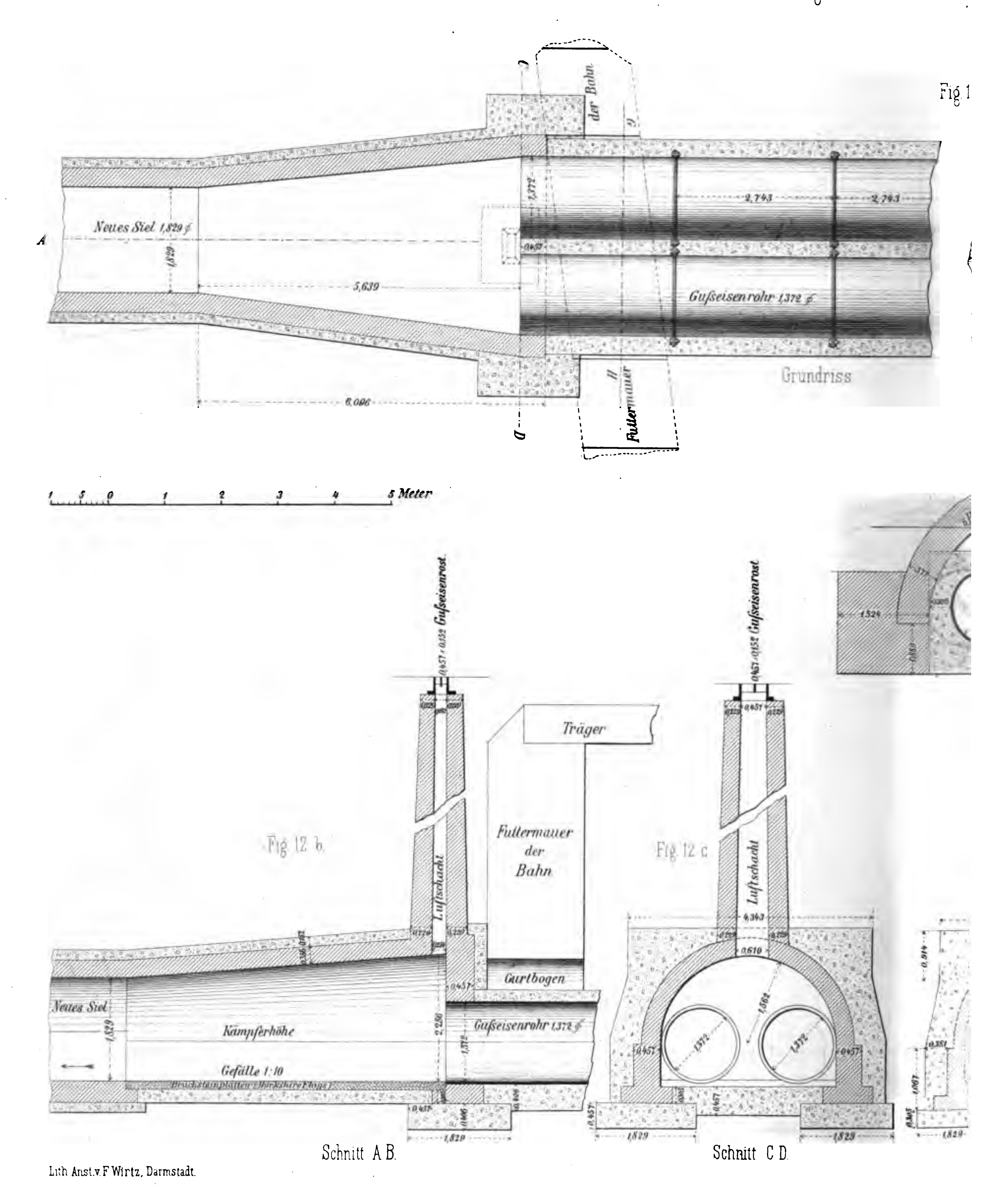


Fig. 11.
Profil unter Häusern.



Verlag v. J. A. Mayer, Aachen.

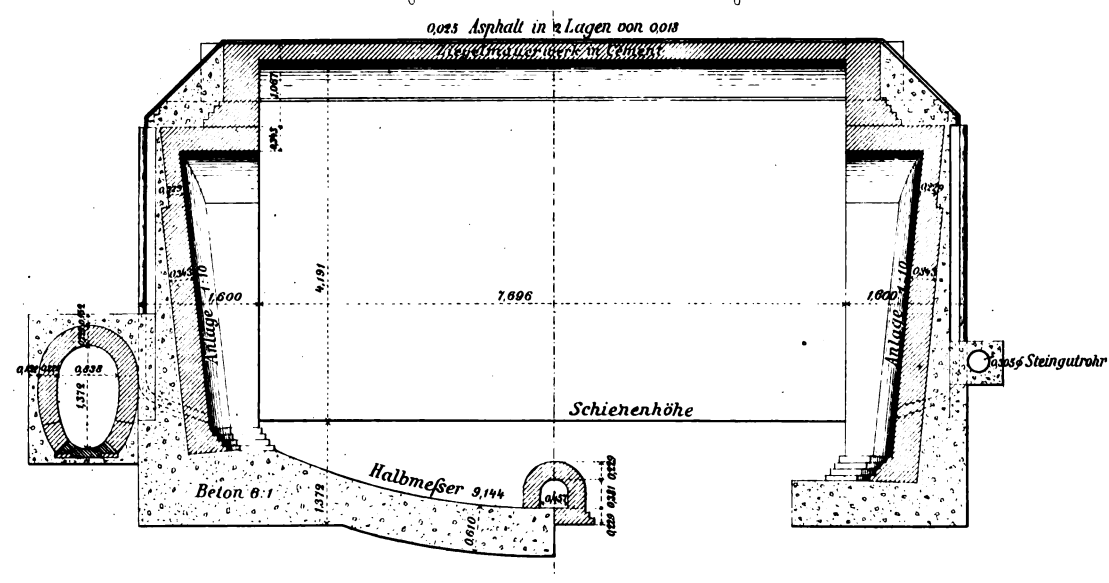
Untergrundbahn zwischen der Man[...]



Lith. Anst. v. F. Wirtz, Darmstadt.

Fig. 9a. Niedriges Profil

1. Mit Sohlgewölbe. 2. Ohne Sohlgewölbe.



1 0,5 0 1 2 3 4 Meter

Fig. 9b.

0,025 Asphalt in 2 Lagen von 0,013

Ziegelmauerwerk in Cement

1,067

0,800

in 1,83 m Abstand

1,334 0,800 1,334 0,800 1,334 0,800

Schienenhöhe

Bruchsteinplatte

1,524

Beton 6:1

Fig. 8a.

0,025 Asphalt in 2 Lagen von 0,013

Ziegelmauerwerk in Cement

0,800

5,486

Nischen in etwa 18,29 m. Entfernung zu beiden Seiten der Bahn.

1,981

1,219

Schienenhöhe

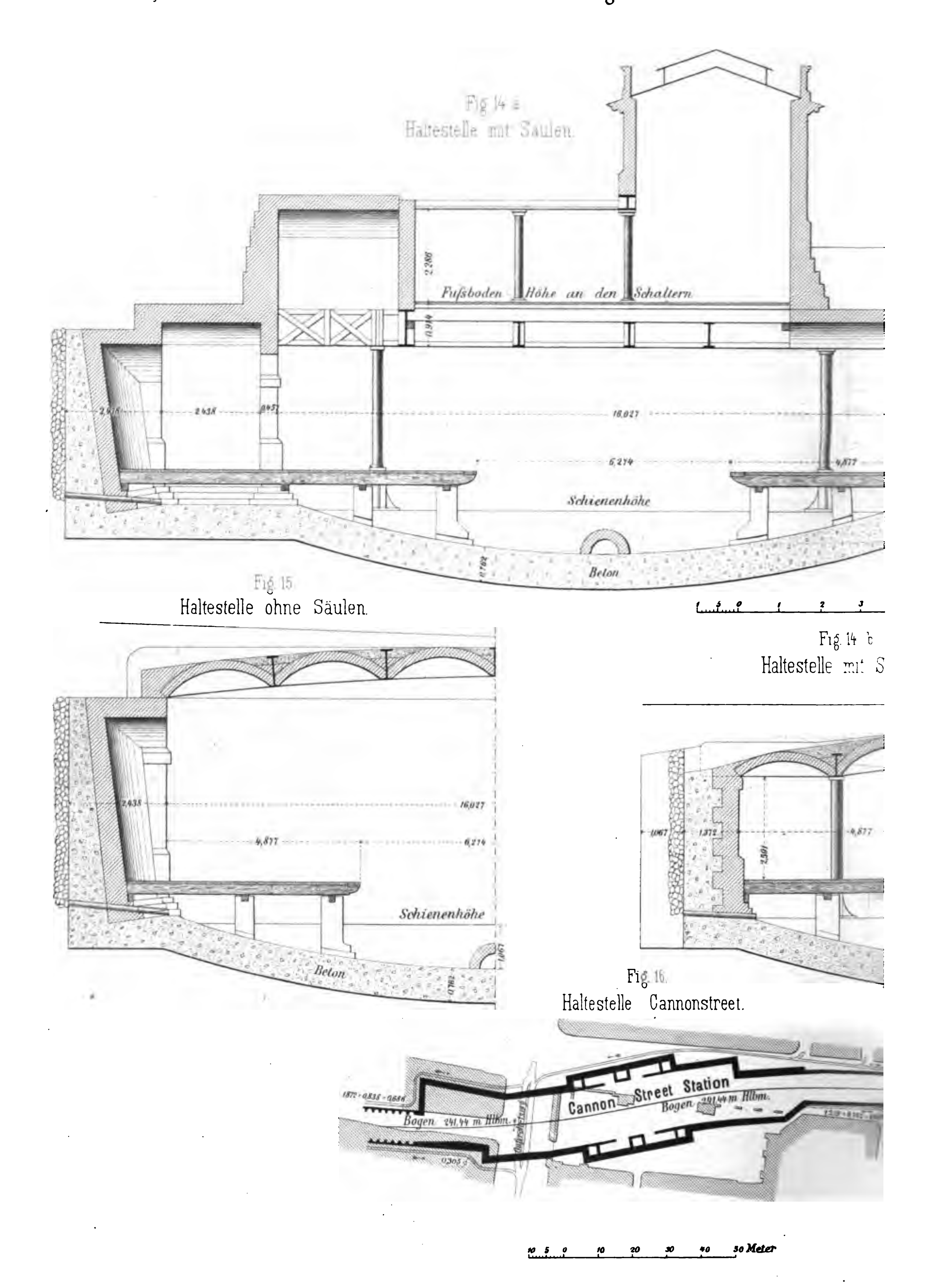
Bruchsteinplatte

Schächte in etwa 30,5 m Abstand

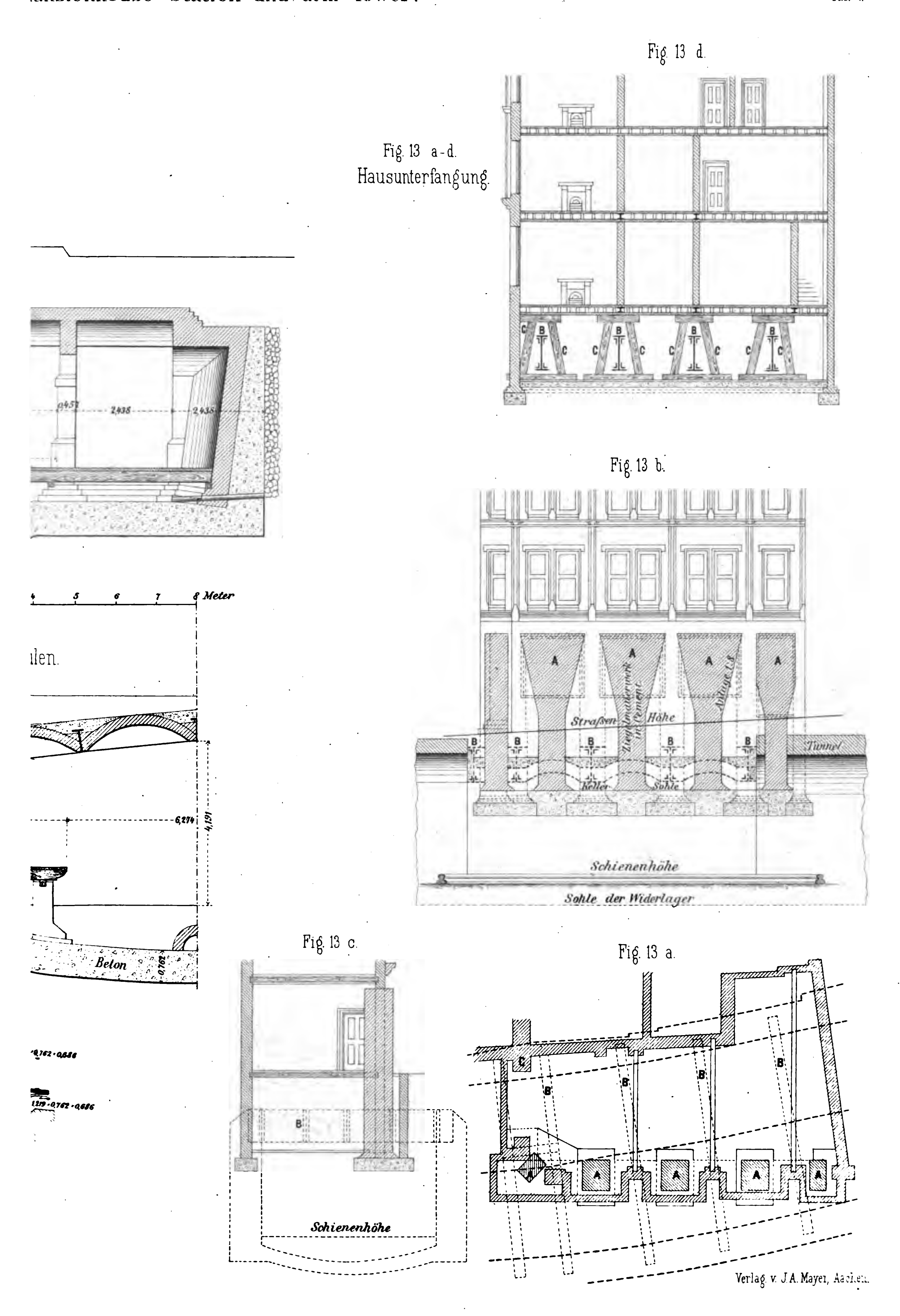
Beton 6:1

Fig. 9c.

1,334



Lith. Anst. v. F. Wirtz, Darmstadt



Verlag v. J.A. Mayer, Aachen.

Untergrundbahn zwischen der Mans[...]

Zimmerung unter [...]

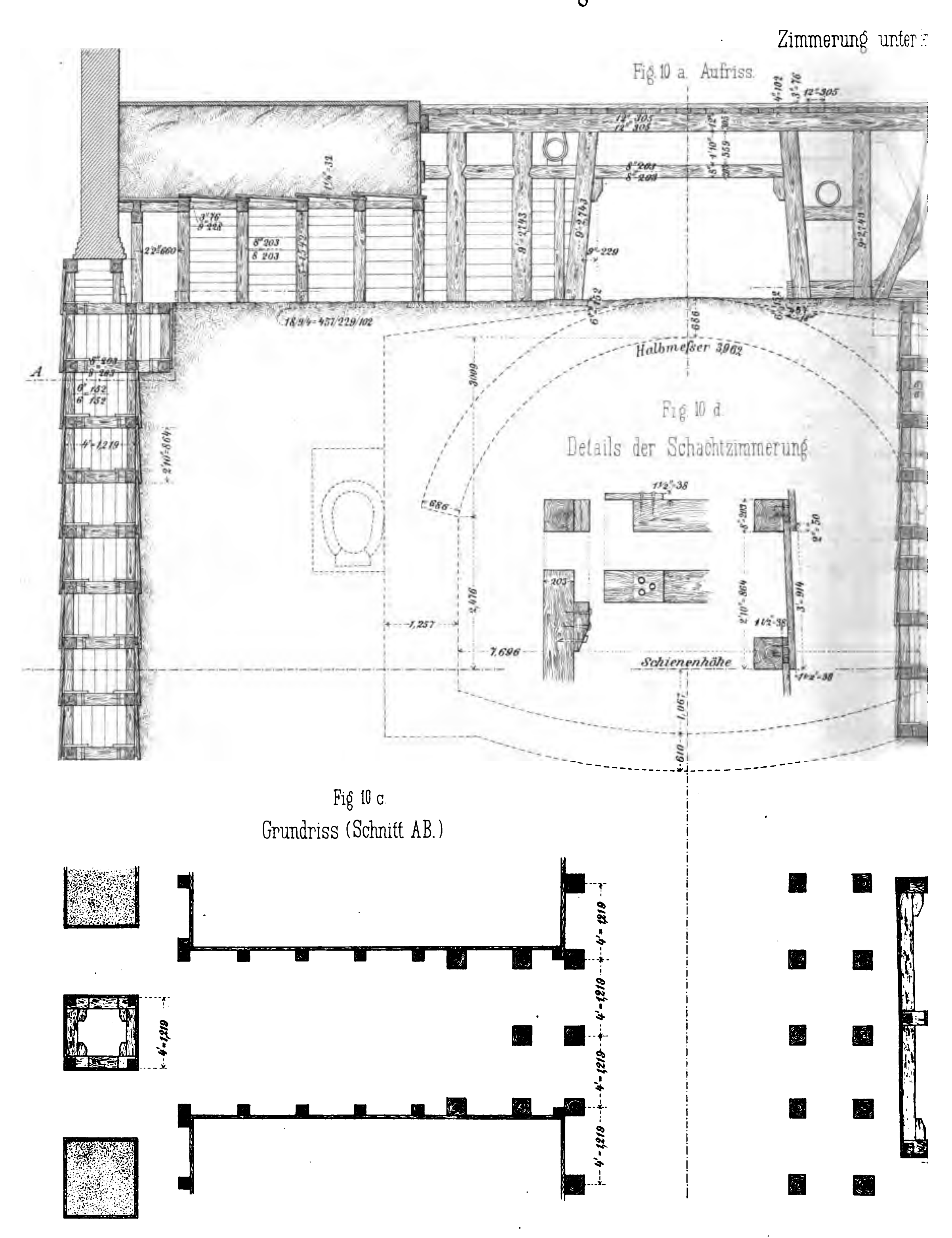


Fig. 10 c.
Grundriss (Schnitt AB.)

Lith. Anst. v. F. Wirtz, Darmstadt.

onhouse-Station und dem Tower.

der Strasse.

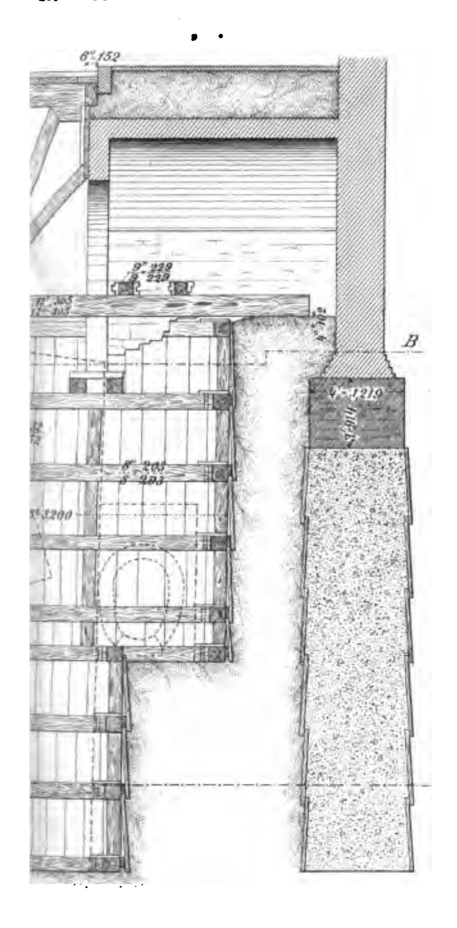
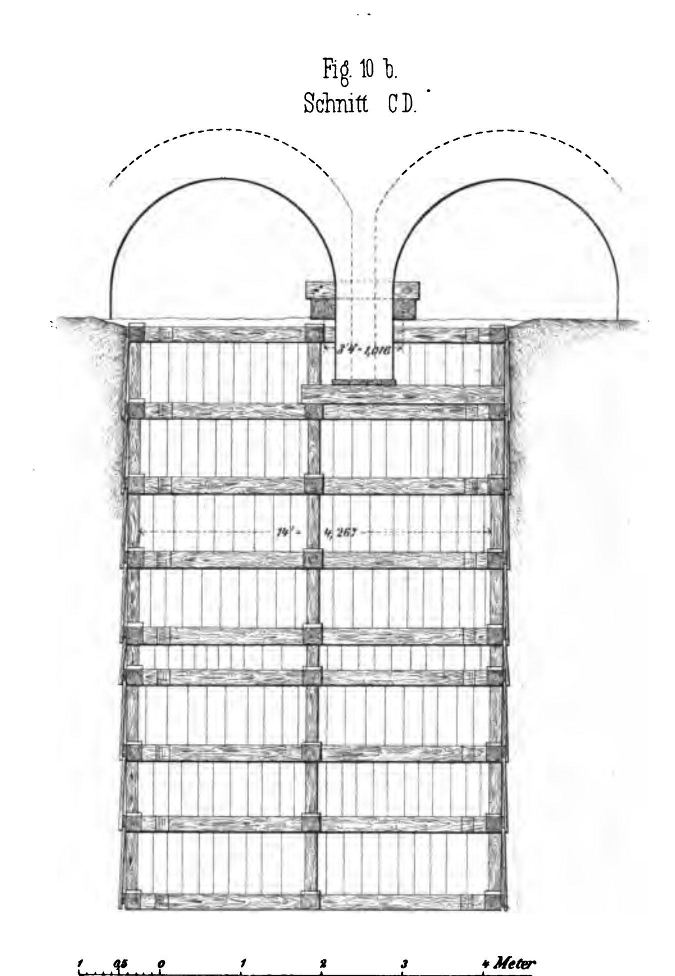


Fig. 10 b.
Schnitt CD.



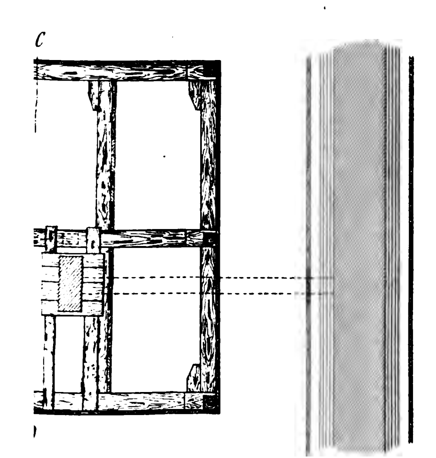
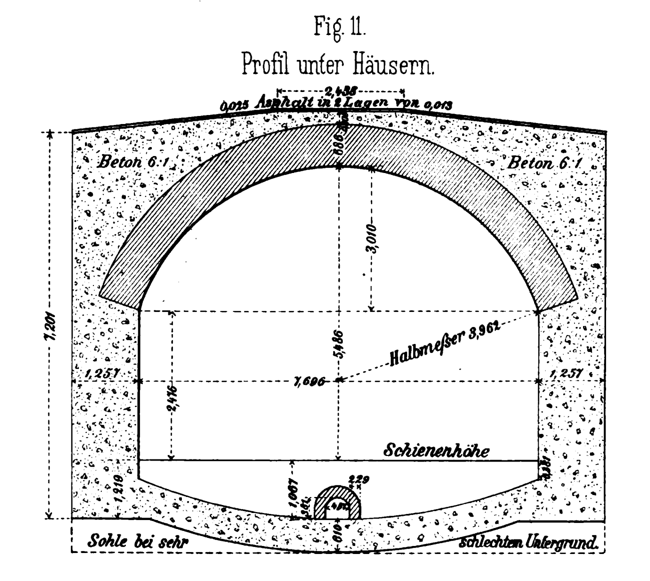
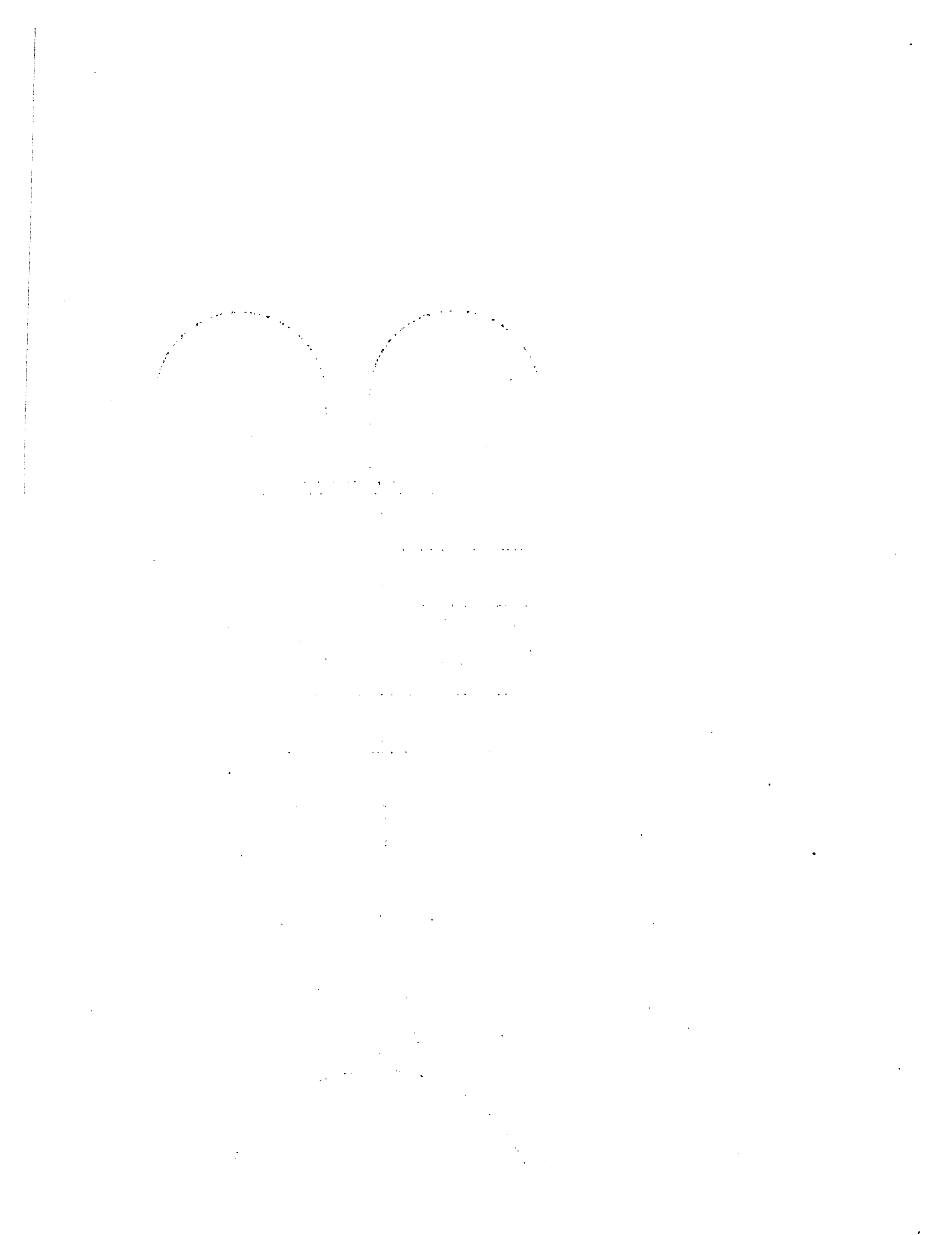


Fig. 11.
Profil unter Häusern.

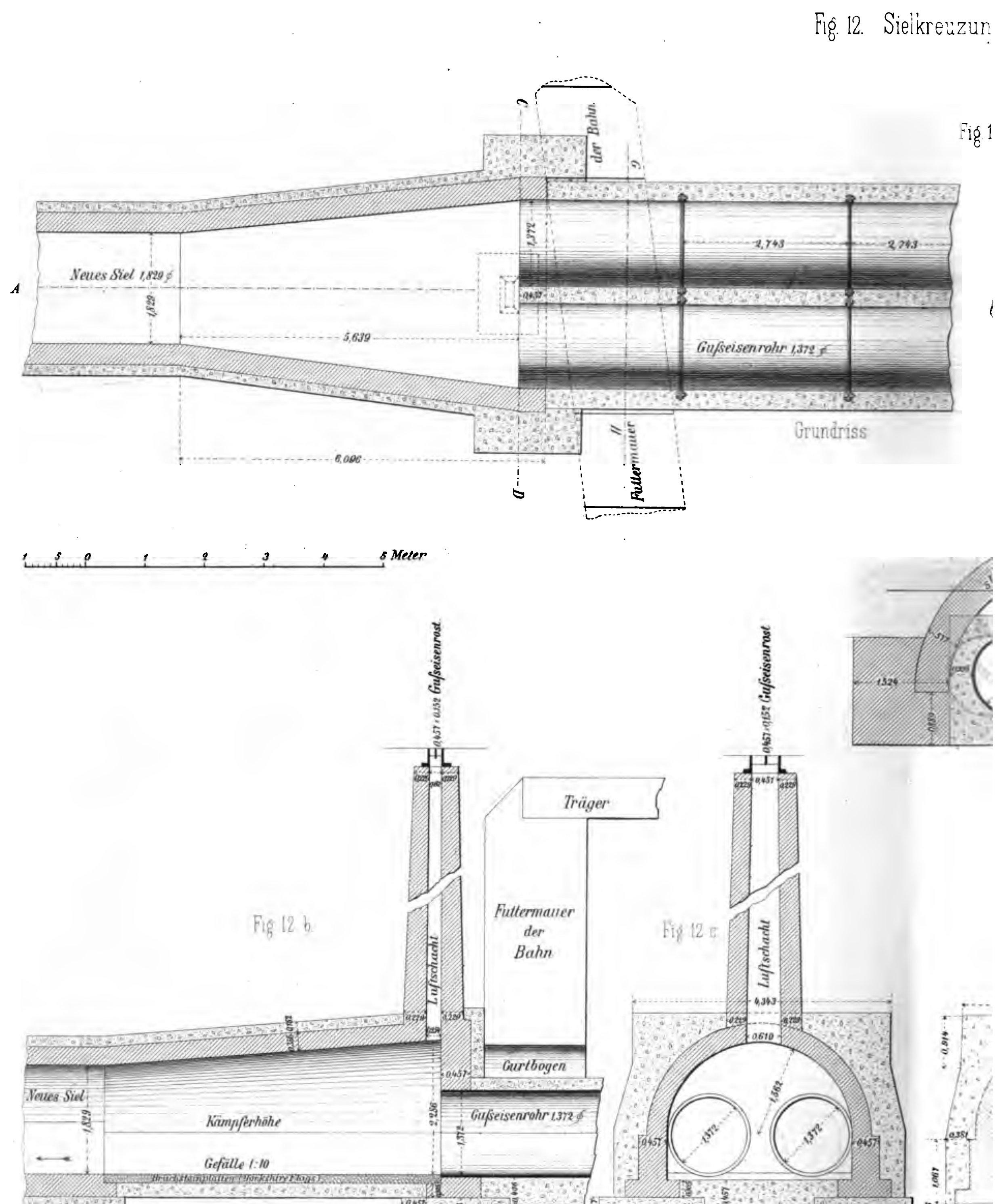


Verlag v. J. A. Mayer, Aachen.

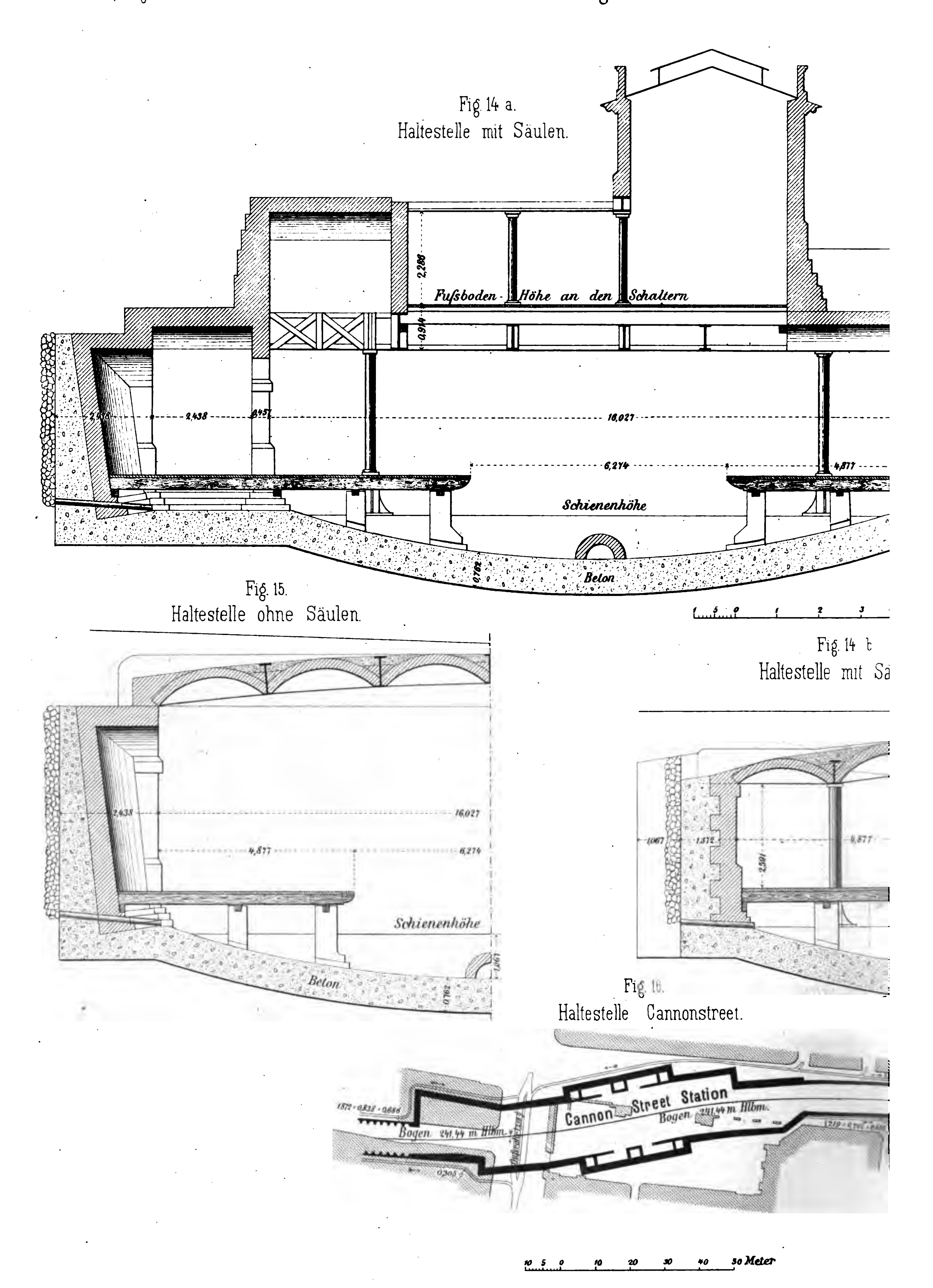


Untergrundbahn zwischen der Man-

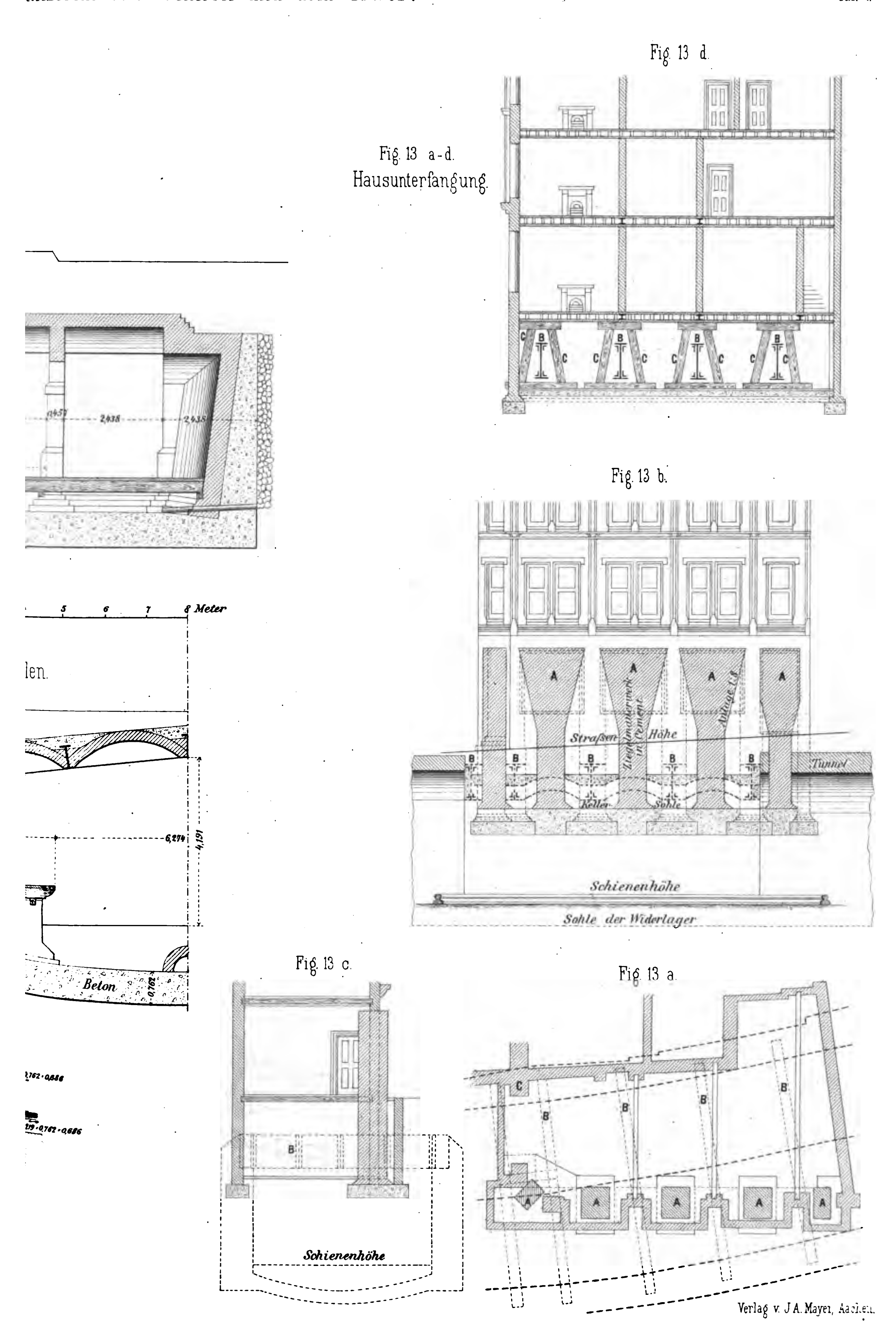
Fig. 12. Sielkreuzun



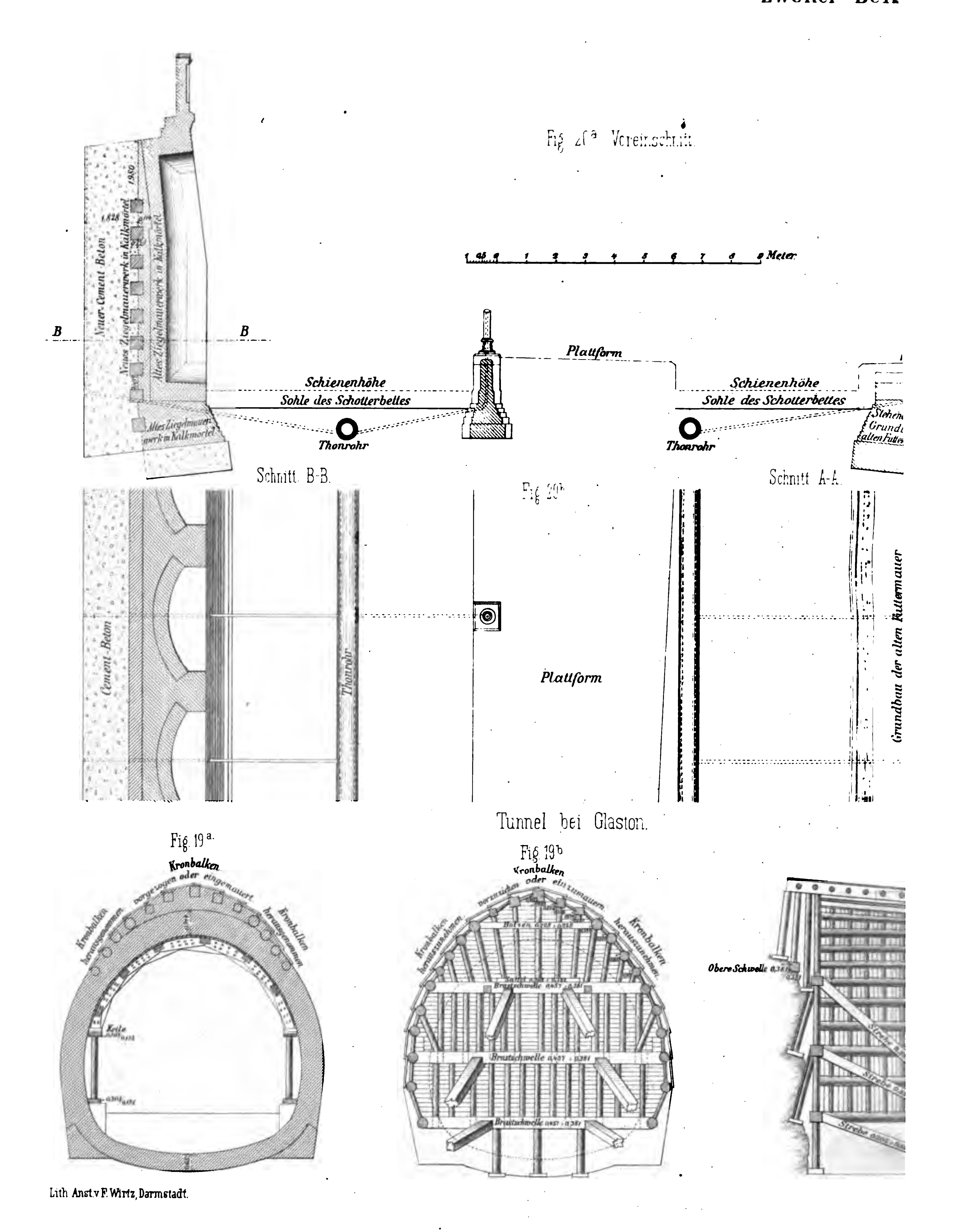
Lith. Anst. v. F. Wirtz, Darmstadt.



Lith. Anst. v. F. Wirtz, Darmstadt.

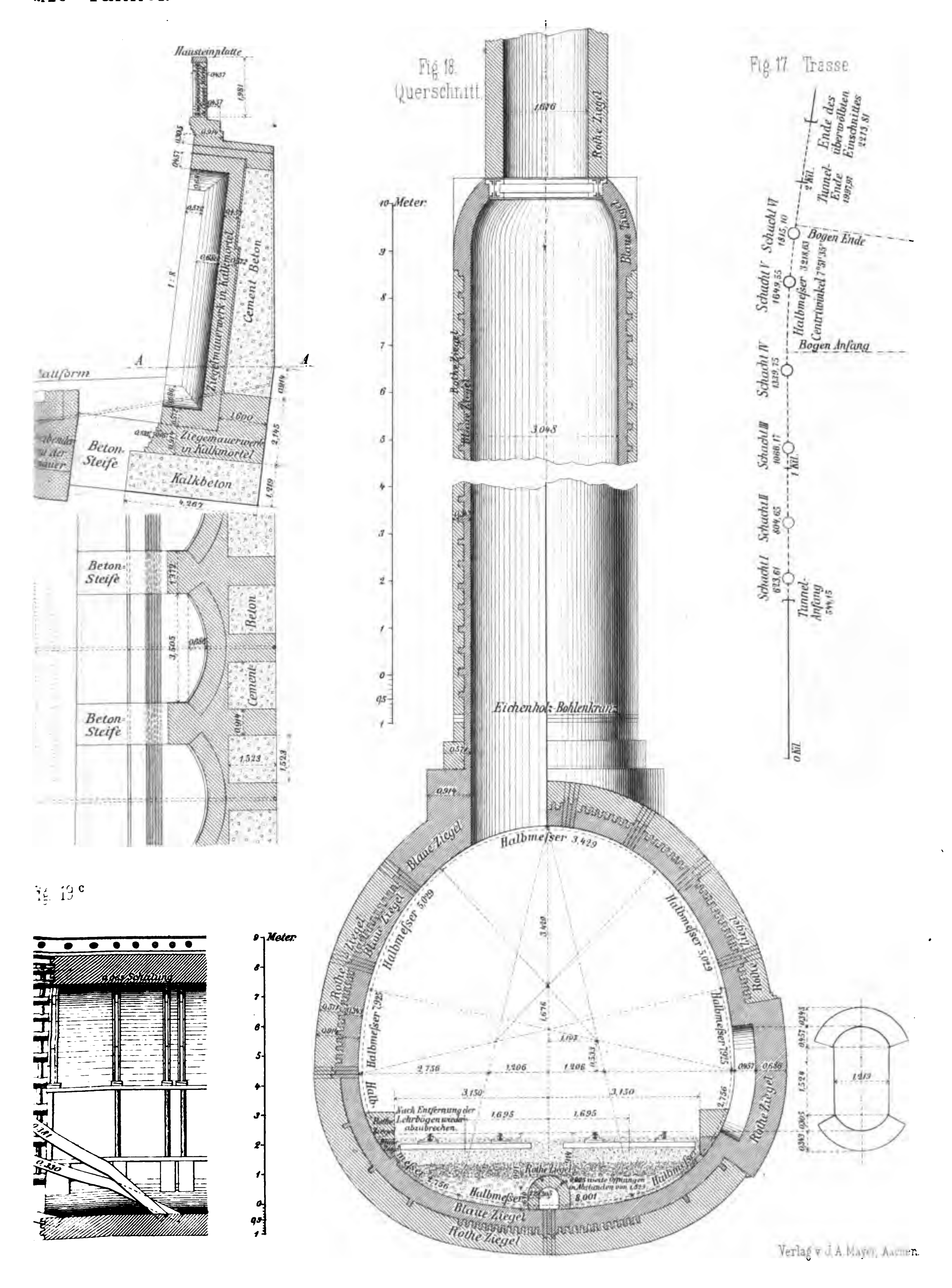


Verlag v. J. A. Mayer, Aachen.



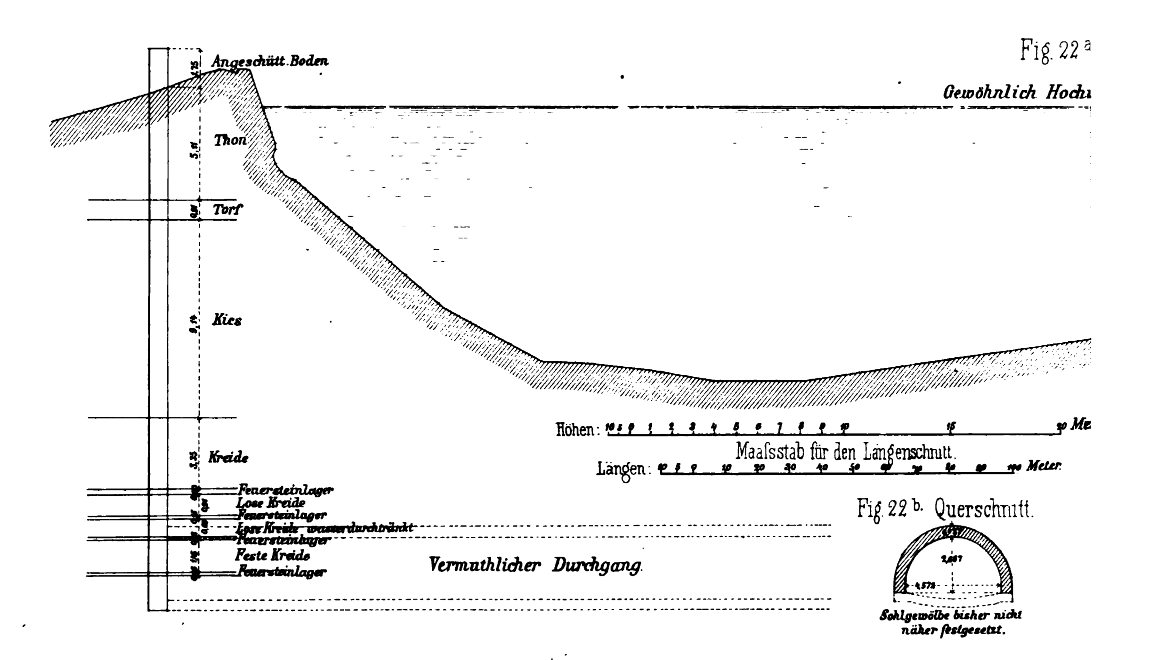
Lith. Anst. v. F. Wirtz, Darmstadt.

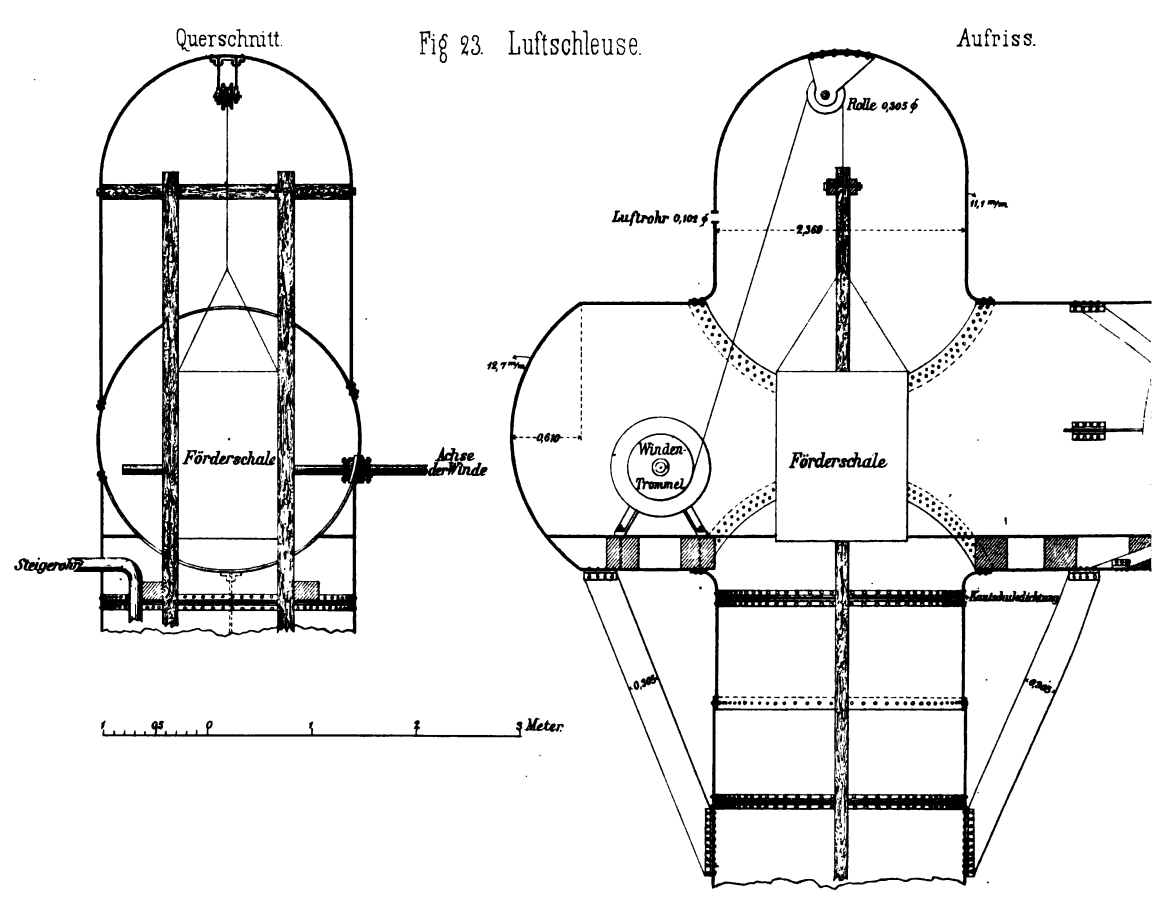
lsize - Tunnel.



Verlag v. J. A. Mayer, Aachen.

Durchgang unter de[r]





Lith. Anst. v. F. Wirtz, Darmstadt.

Themse bei Woolwich.

Längenschnitt.

Fig. 21. Situation.

Mersey-Tunnel.

Fig. 30. Eiserner Kranz im Wasserstollen.

a. Schnitt

b. Ansicht.

Verlag v. J. A. Mayer, Aachen

Fig. 27. Haltestelle.

a. Querschnitt.

b. Längenschnitt.

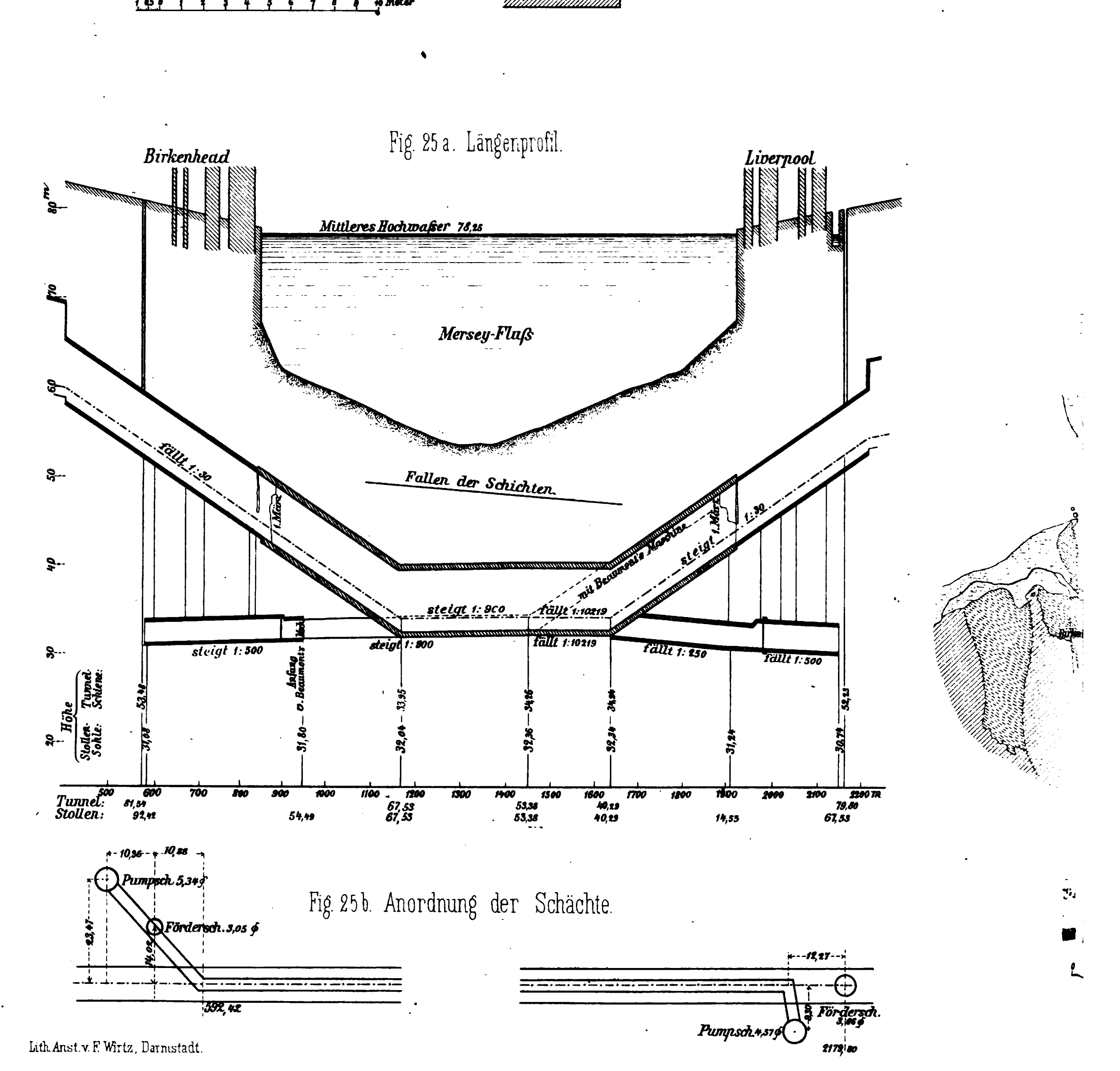
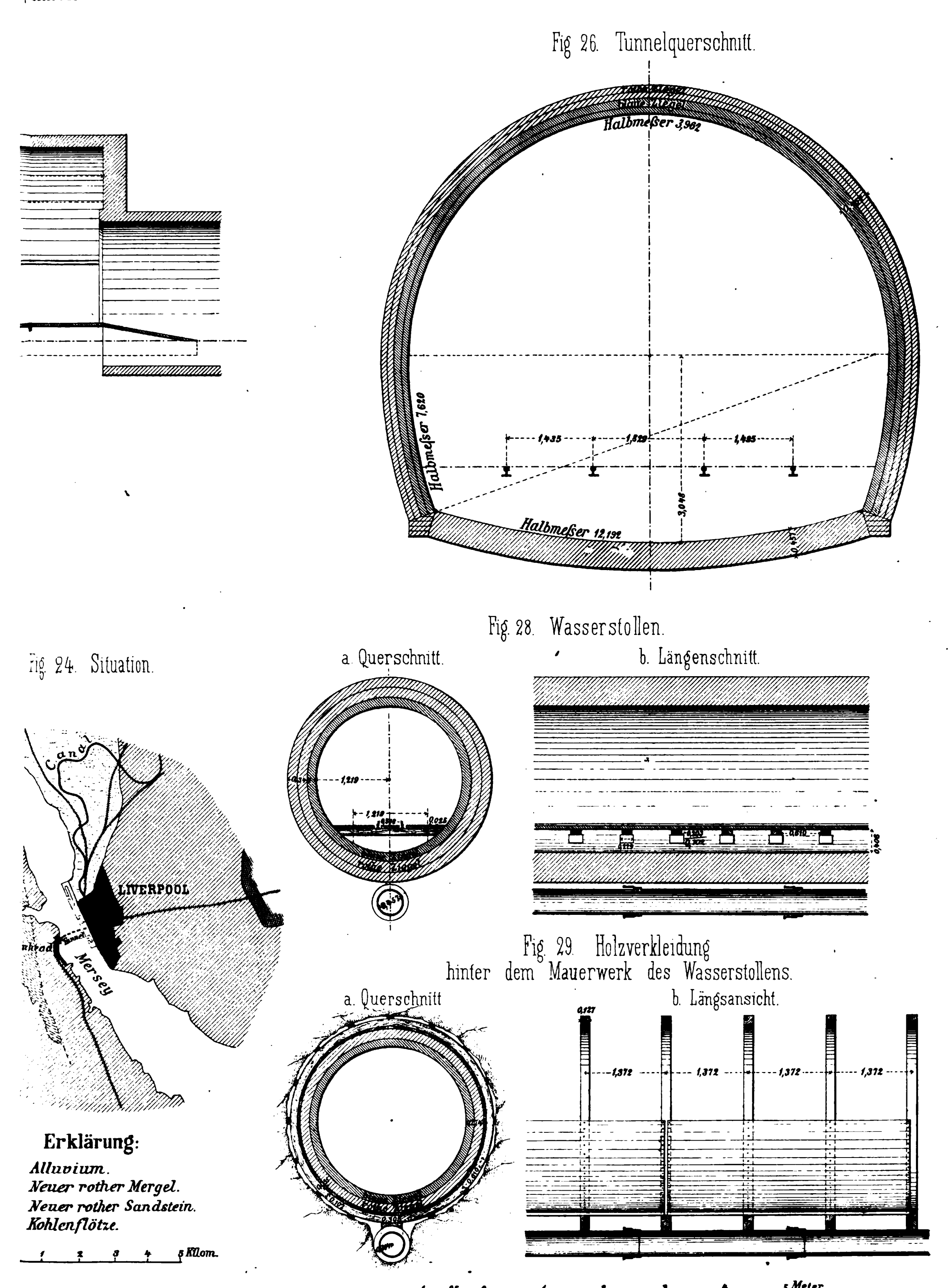


Fig. 25 a. Längenprofil.

Fig. 25 b. Anordnung der Schächte.

Lith. Anst. v. F. Wirtz, Darmstadt.



Verlag v. J. A. Mayer. Aachen.

Severn[t]

Fig. 31. Län[gen...]

fällt 1:100 — horizont.

Greenlane Schacht Straße — Seawall Schacht — Tunnelanfang

Hochwasser gewöhnlicher Springfluthen 62,73

Salmon P.

Durchschlag 27. IX. 1881.

rothes Todtliegendes

Thüre Verwerfung — Flötz — Oberes product Kohlengebirge

Niedrw. gew. Spring[fluthen] — Shoots — Penarth

10m, 60, 50, 40, 30, 20, 10, 0

319 — 4 Kil. — 5 Kil. — 6 Kil. — 7

Gerade

Erklärung: Ausbruch — Mauerung — Von Walker bereits vollendet. — Ausbruch

Anordnung der Schä[chte]

Fig. 33d Schnitt D D. (2,44)

Fig. 33c Schnitt C C.

Fig. 33b Schnitt B B. (5,486)

Alter Pumpschacht (bleibt jedenfalls bestehn)

Fig. 33e

Fig. 33f Grundriss.

Neuer Förderscht. — 6,93 — B, C, D, E

Neuer Pumpschacht

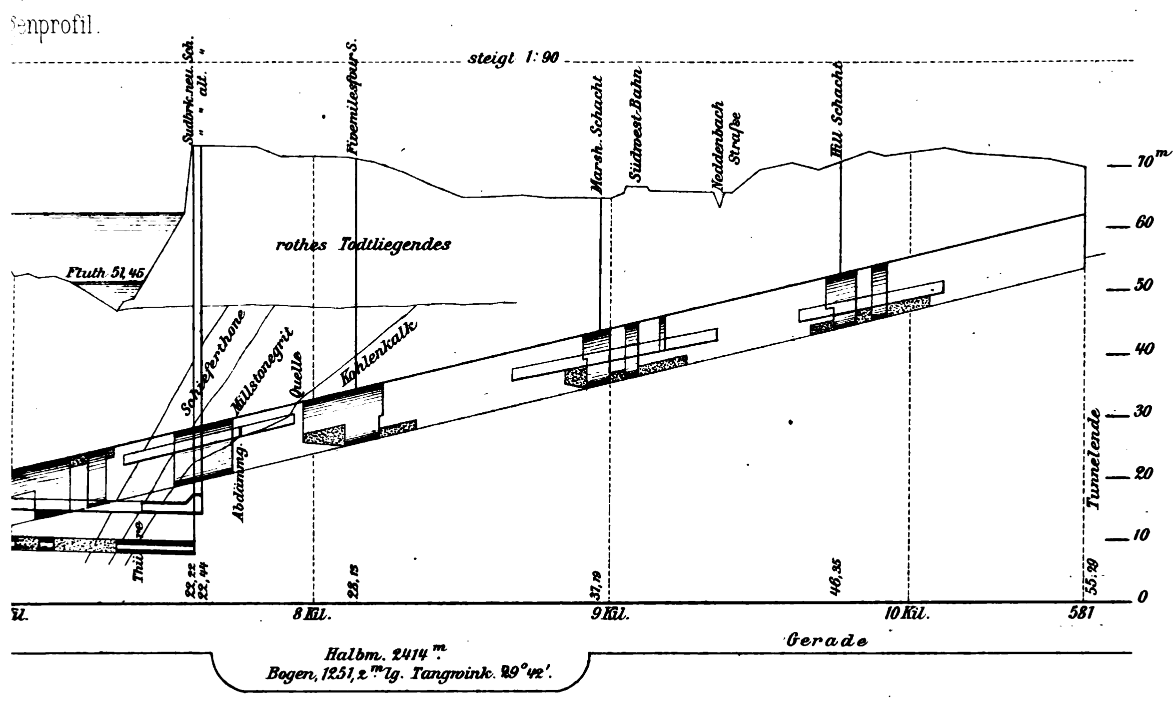
1 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15m

Lith. Anst. v. F. Wirtz, Darmstadt.

unnel.

Taf. IX.

…enprofil.



er Great-Western-Bahn.

chte in Sudbrook.

Schnitt E E.

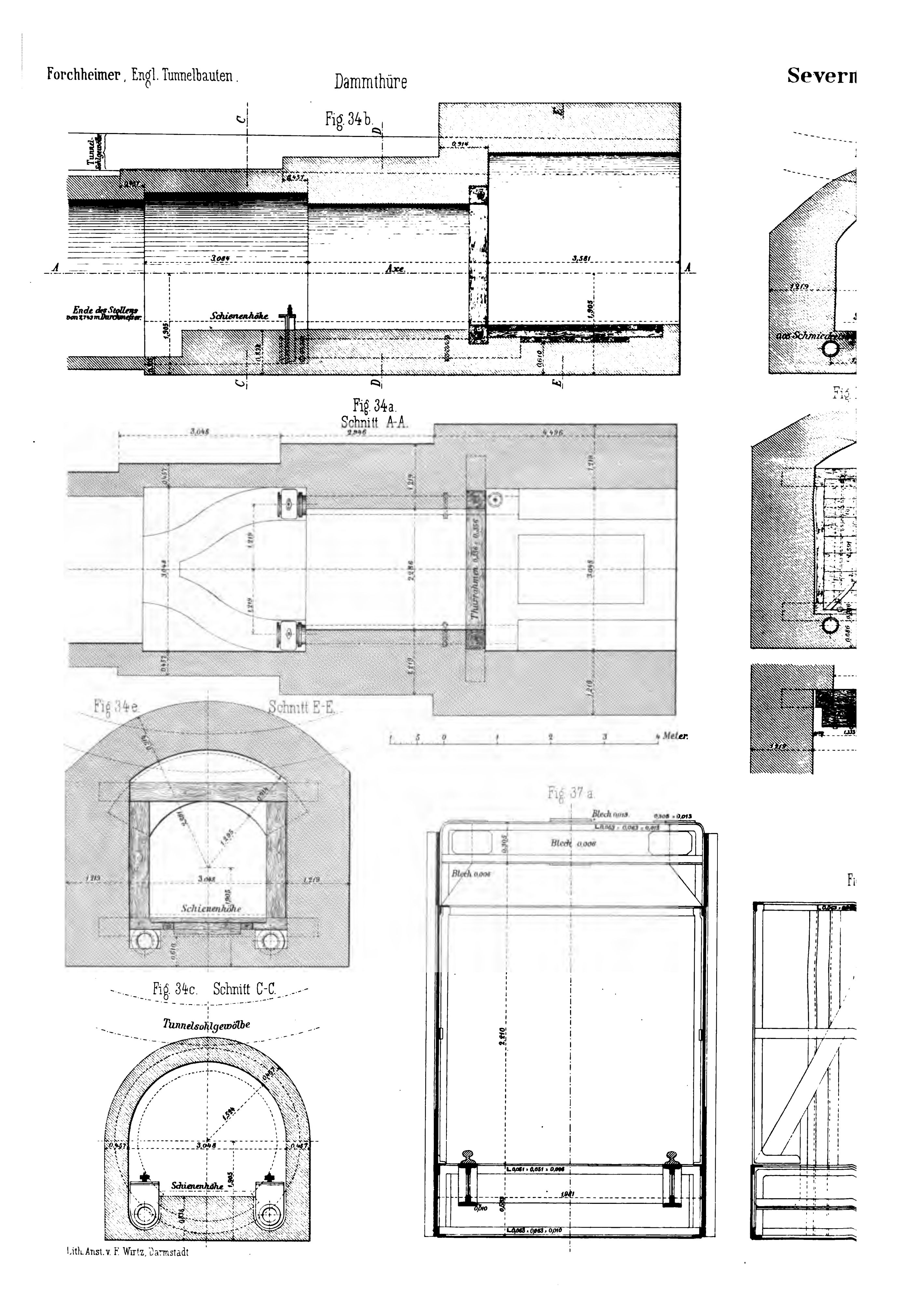
der demnächstige Bau war im April 1883 i. Aussicht genommen

v. T. C. Walker gemauert

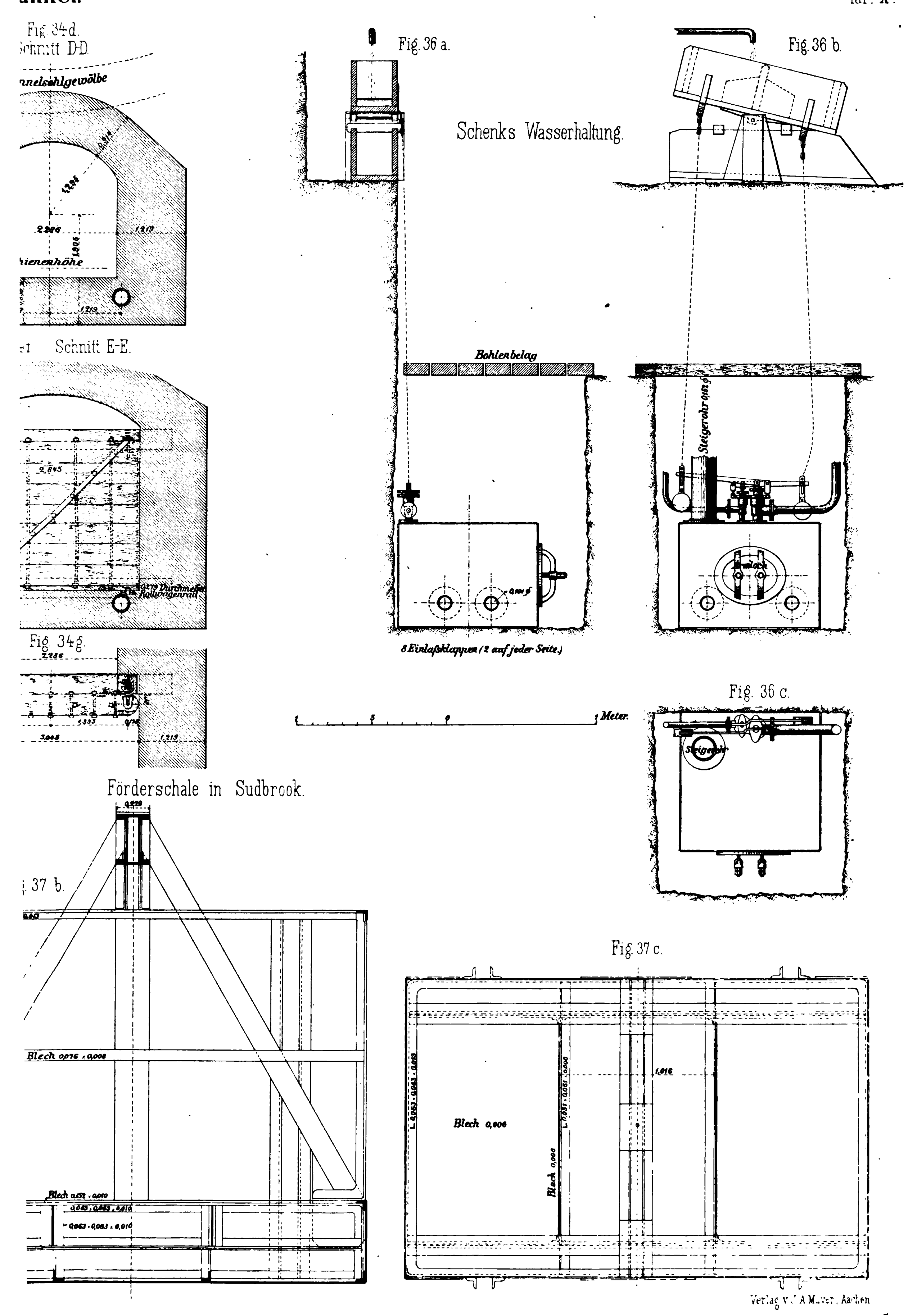
Altes Mauerwerk.

Verlag v. J. A. Mayer, Aachen.

Dammthüre



Lith. Anst. v. F. Wirtz, Darmstadt



Verlag v. J. A. Mayer, Aachen

Severn

Tunnel unter

Fig. 41b A

Canaltunnel.

Fig. 43. Sondirloth.

Fig. 41a Querschnitt.

Fig. 41c

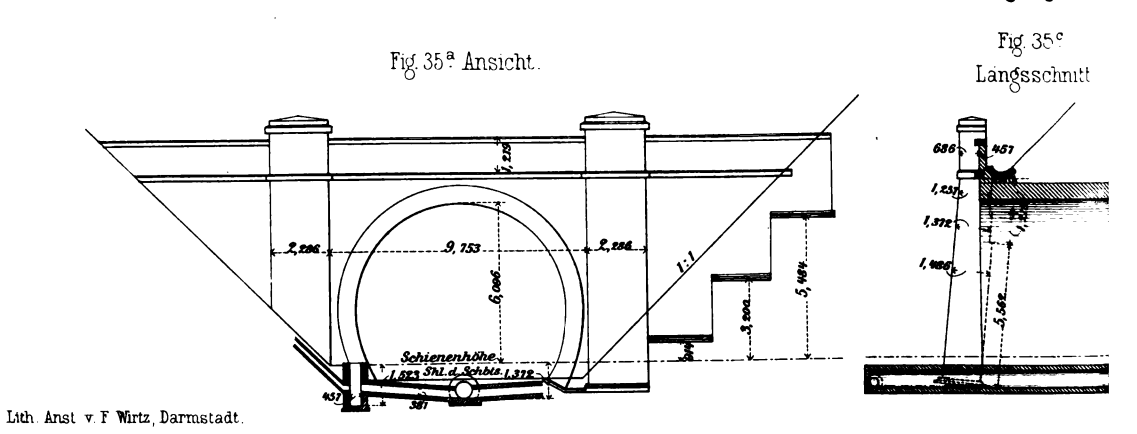
Fig. 41i La

Ausgang des



Fig. 35a Ansicht.

Fig. 35c Langsschnitt



Lith. Anst. v. F. Wirtz, Darmstadt.

...ntunnel.

...einer Strafse.

...sicht.

...ndriss.

...gsschnitt.

Hauptsiel der Stadt Brighton.

Fig. 46. Mauerung vor wasserführenden Spalten.

Kreide

Spalte

Letten

Beton

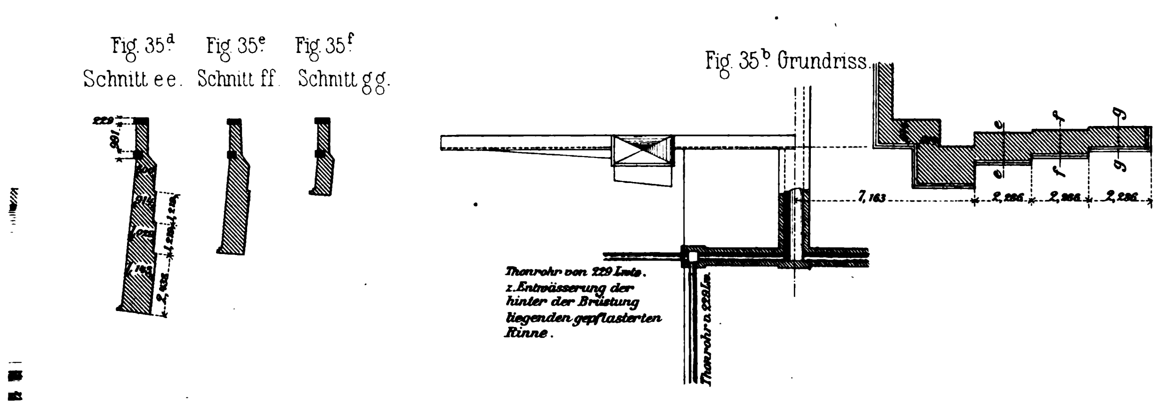
Fig. 41^f Schnitt C C.

Fig. 41^e Schnitt D D.

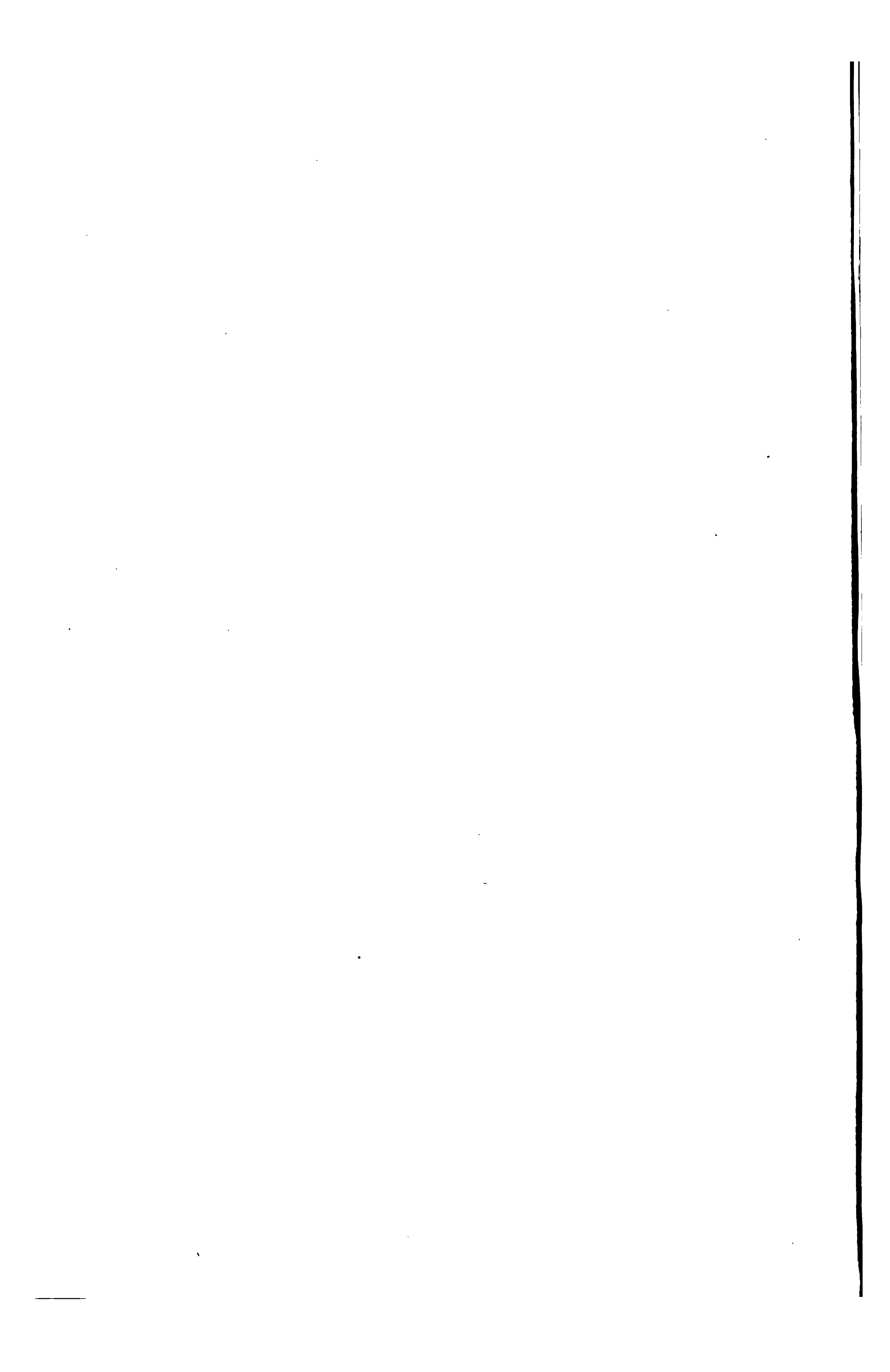
Fig. 41^g Schnitt F F.

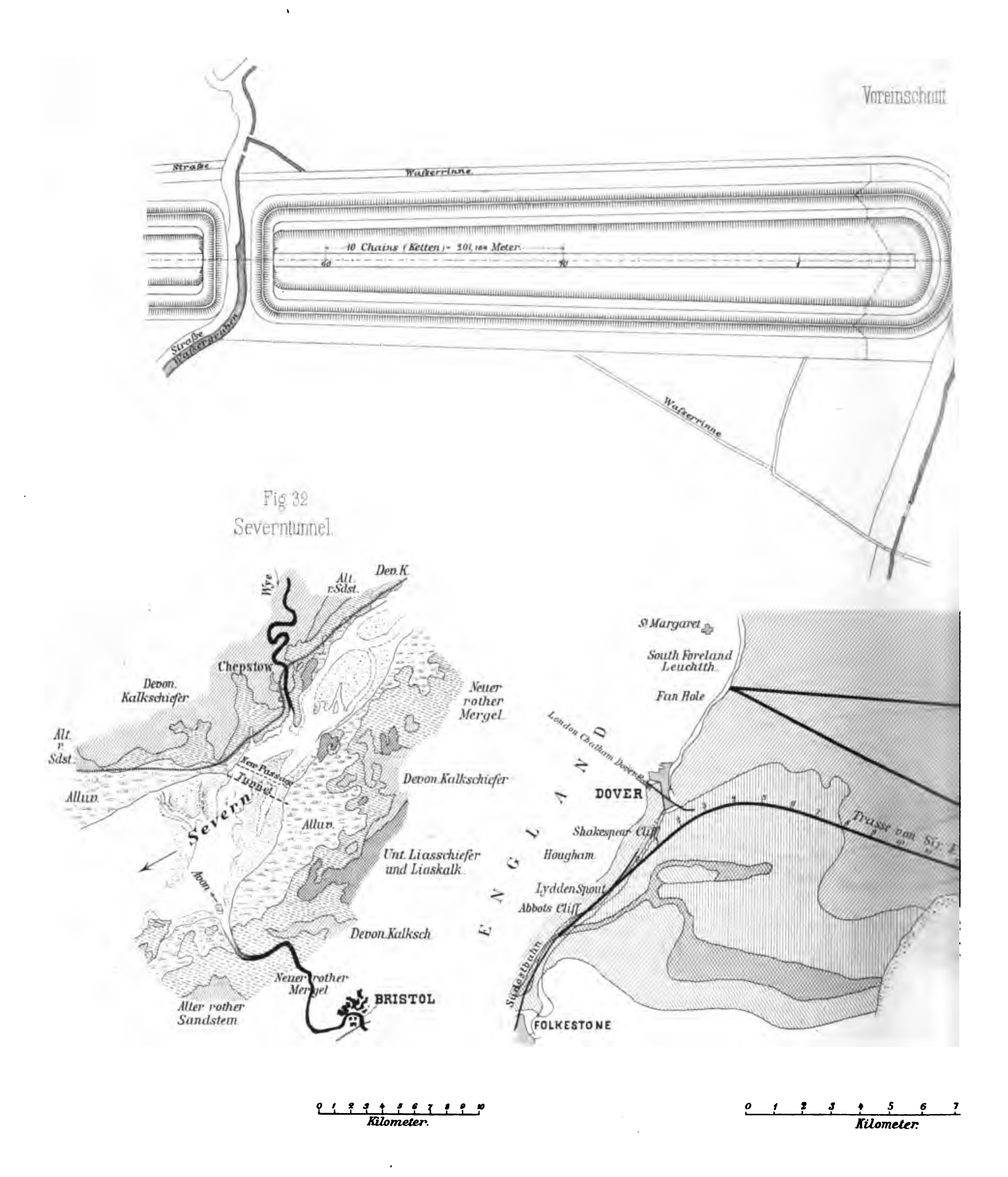
Schienenhöhe

...verntunnels.



Verlag v. J. A. Mayer, Aachen.





Lith. Anst. v. F. Wirtz, Darmstadt.

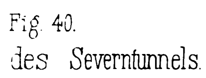


Fig. 40.
des Severntunnels.

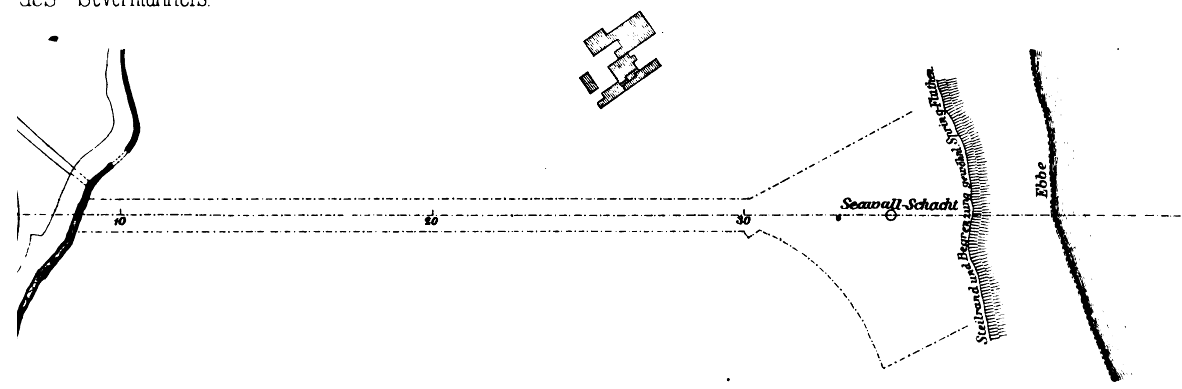


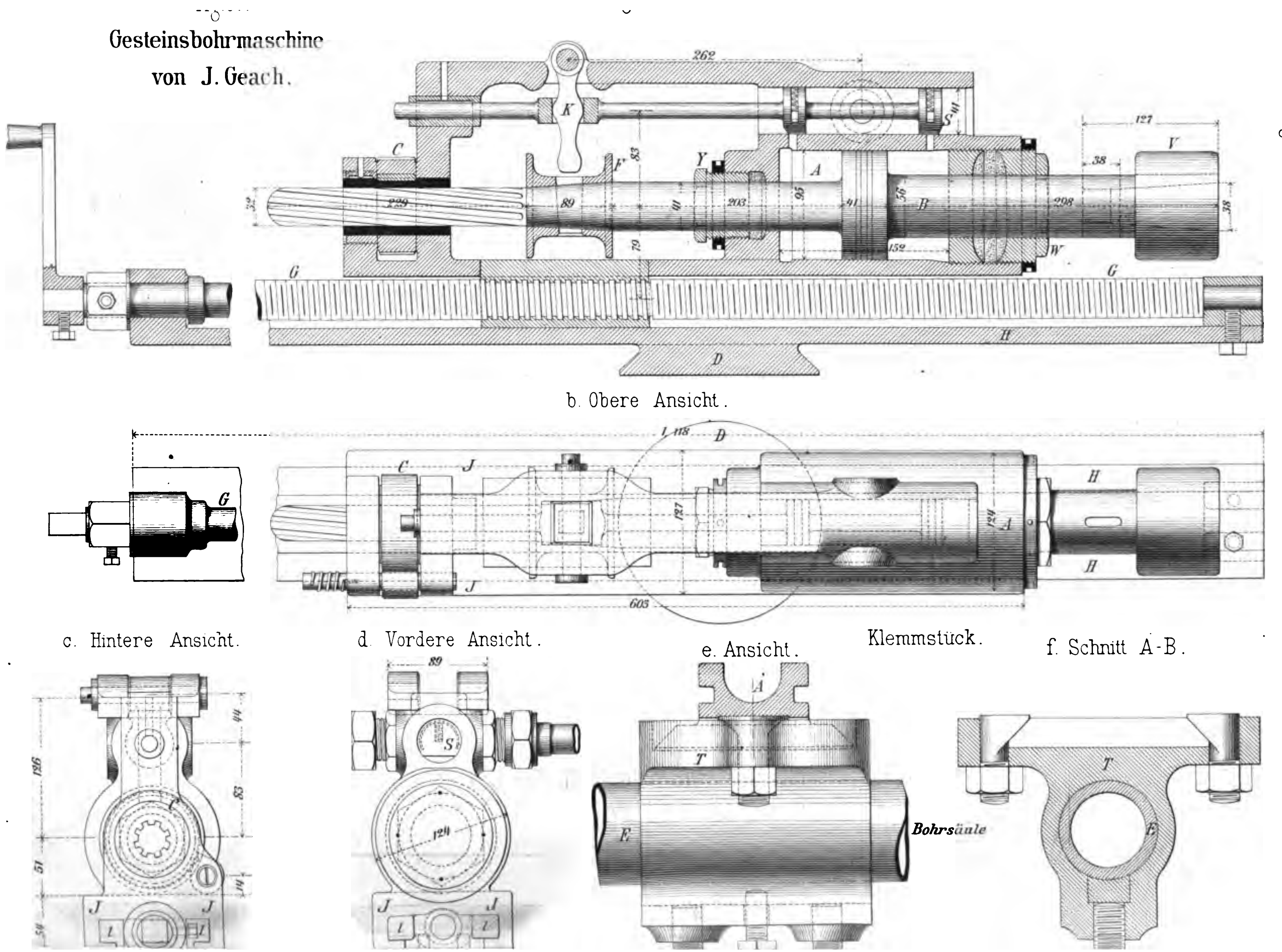
Fig. 42.
Canaltunneltrassen.

Traſse 2.
Traſse 3.
(Traſse 1.)
CALAIS
Ferme Mouron
Nordbahn
Sangatte
Bas Escalles
FRANKREICH
Somber Haute
N
S

Obere Kreide.
Mittlere Kreide.
Kreide von Rouen.
Craie Glauconieuse.
Gault.

9 10

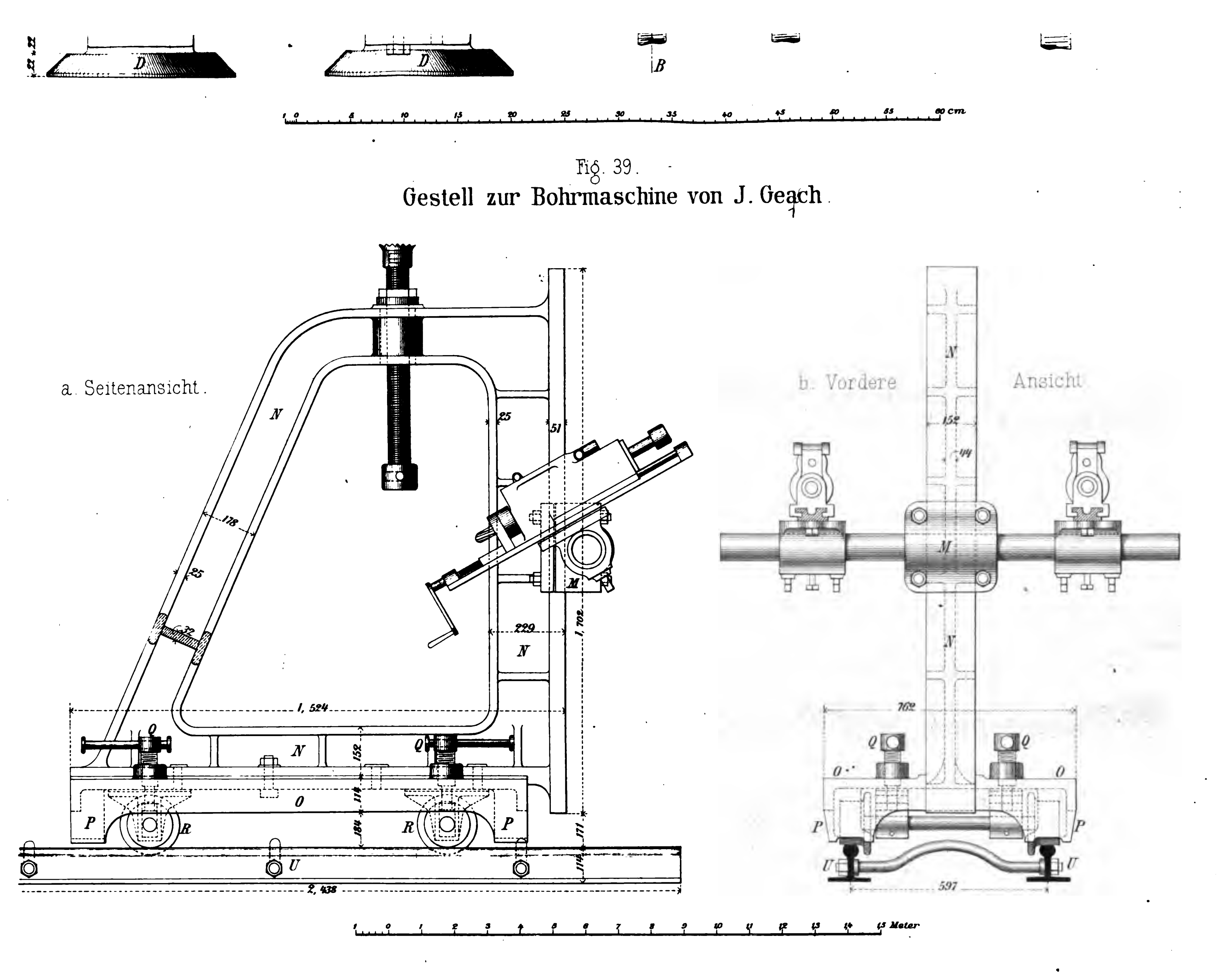
Verlag v. J. A. Mayer Aachen.



Anst. v F Wirtz, Darmstadt

Fig. 39.

Gestell zur Bohrmaschine von J. Geach.



Verlag v J. A. Mayer, Aachen.

Fig. 44. Französische

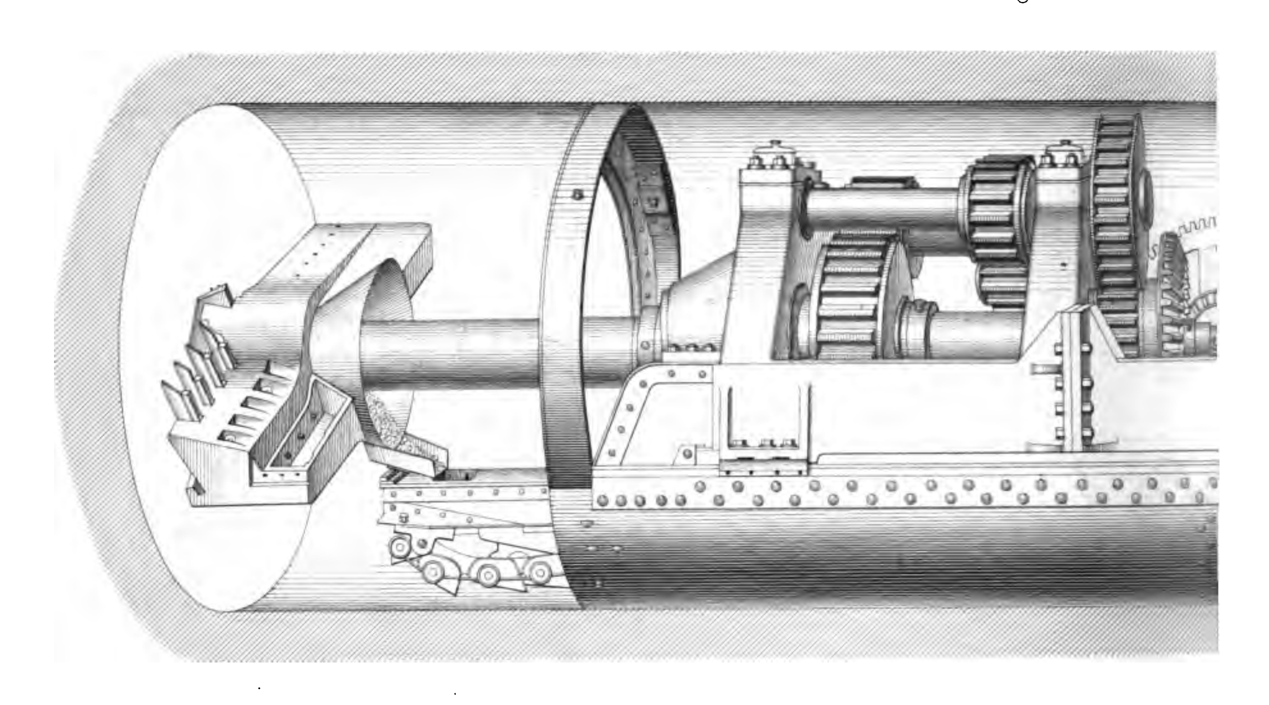
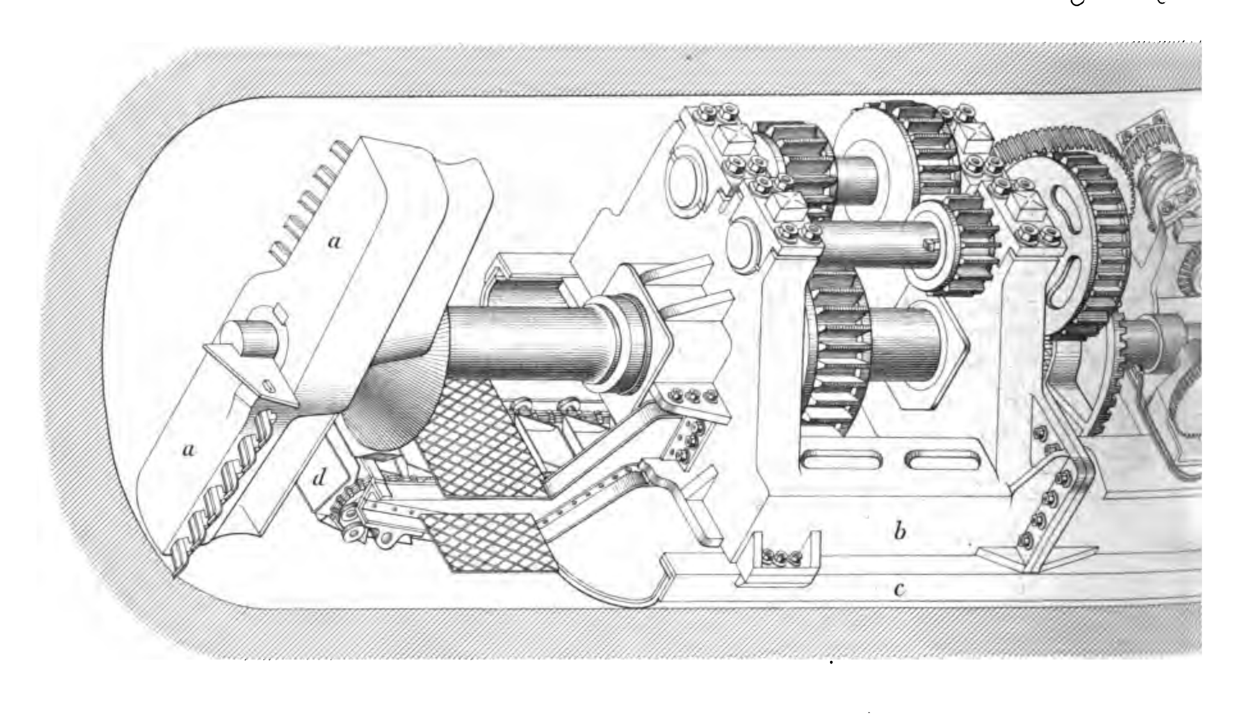


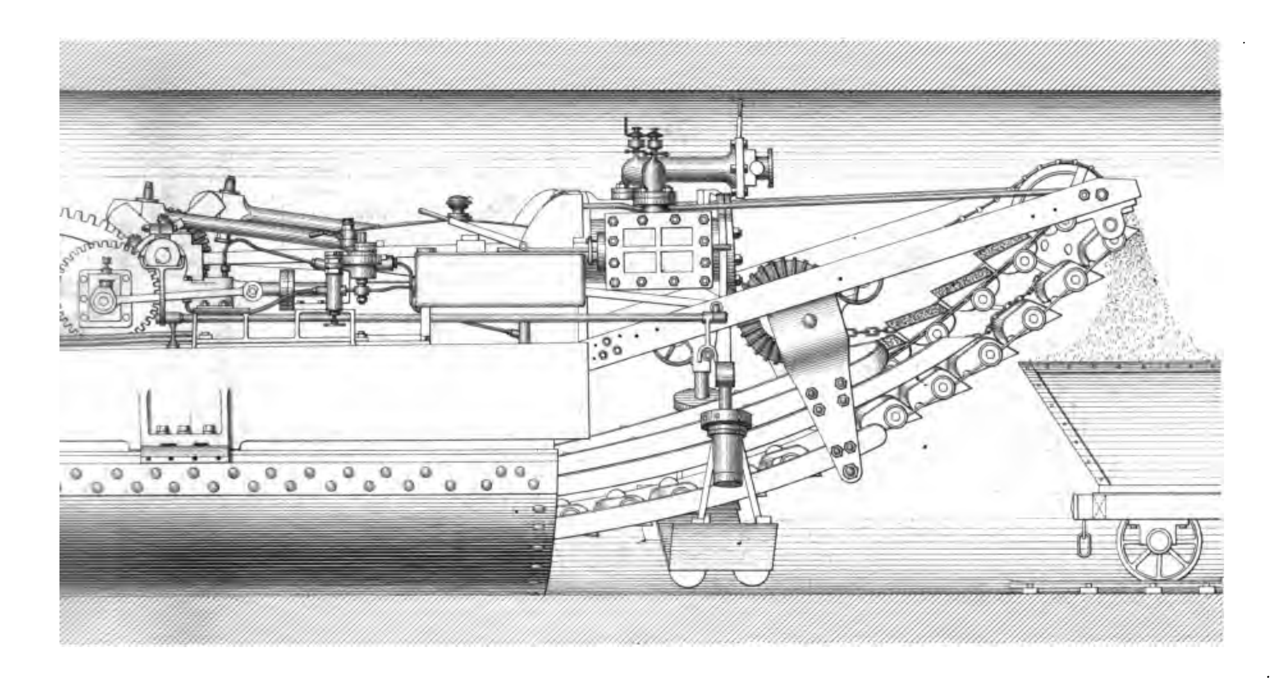
Fig. 45. Englisc



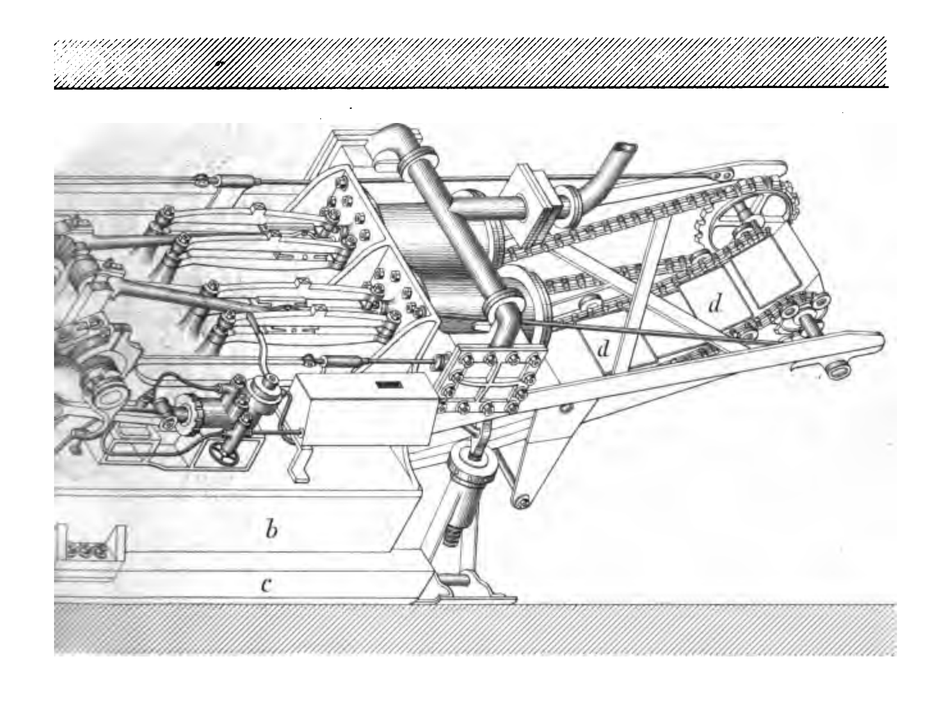
Lith. Anst. v. F. Wirtz, Darmstadt.

nel . Taf. XIV.

Bohrmaschine .



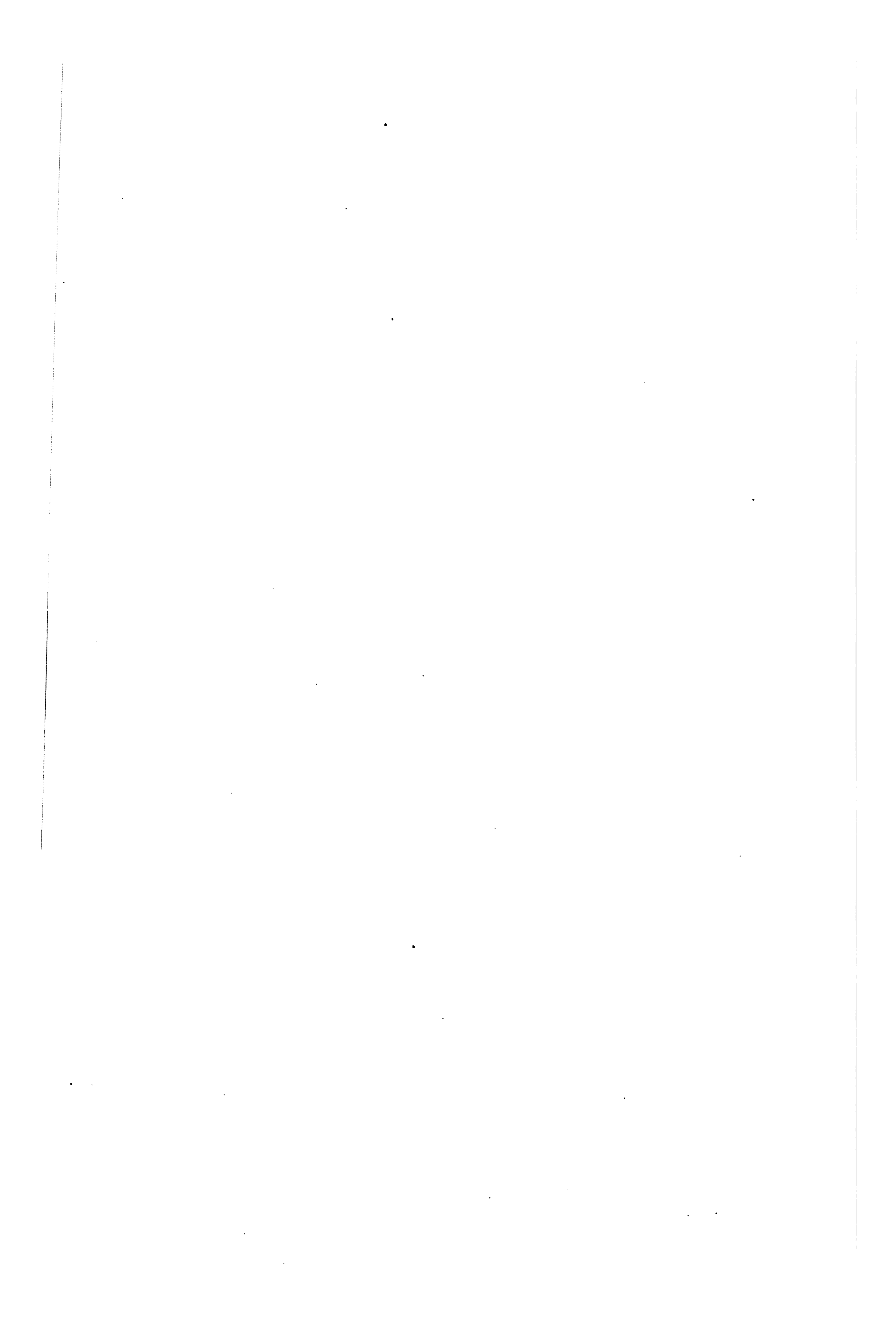
e Bohrmaschine :



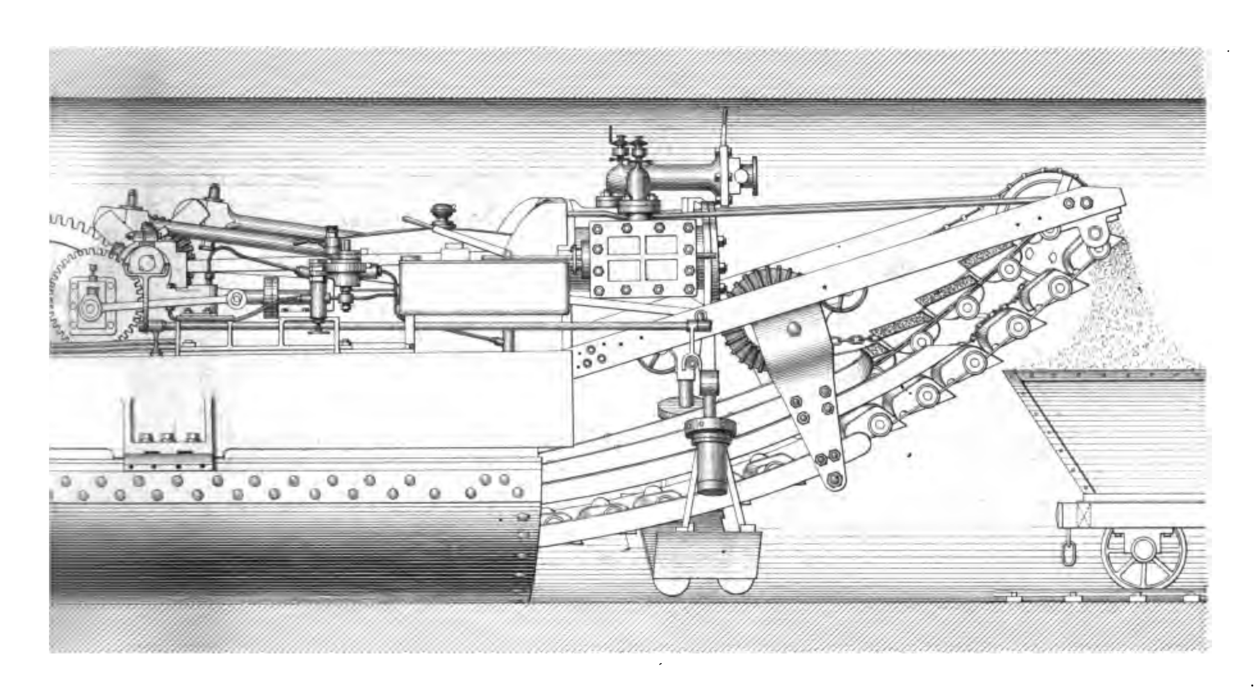
5 Meter

Verlag v. J. A. Mayer, Aachen

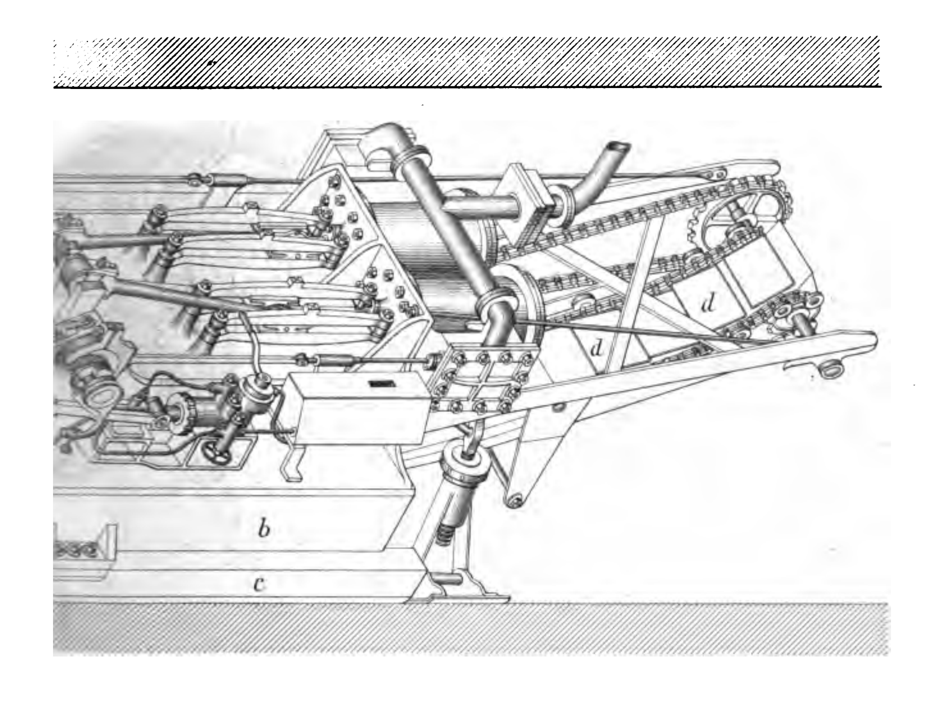
Universitäts-Buchdruckerei von Carl Georgi in Bonn.



Bohrmaschine.



Bohrmaschine:



3 4 5 Meter

Verlag v. J. A. Mayer, Aachen

